INRA magazine

Alimentation
Agriculture
Environnement

N°18 - OCTOBRE 2011

DOSSIER

Gérer le manque d'eau en agriculture

HORIZONS
Un meilleur blé pour la planète

RECHERCHES
Pâturages contre marée verte

REPORTAGE
Futurol, le carburant de demain se recherche aujourd'hui

sommaire

Chers lecteurs,

Agriculture, environnement, alimentation, les trois grands domaines de recherches de l'Inra, sont intimement liés comme le montre ce numéro avec des articles aux sujets pourtant très divers. La sécurité alimentaire de l'humanité comme l'exposent Marion Guillou et Gérard Matheron dans leur livre (p. 31) dépend grandement du dynamisme de la recherche... Recherche sur la nutrition azotée des plantes afin de limiter les engrais (p. 10), recherche sur le développement de la biomasse afin de proposer des biocarburants durables sans entrer en concurrence avec les terres arables (p. 27) ou encore recherche sur la métagénomique intestinale pour améliorer la qualité nutritionnelle des aliments (p. 3). La collaboration Nord-Sud est un impératif pour partager les informations et les découvertes, c'est ce qui a conduit à la création d'IRIWI, une initiative internationale pour l'amélioration du blé (p. 5). La sécurité alimentaire doit aussi se penser dans un contexte de changement climatique et de gestion toujours plus fine de l'eau par les agriculteurs comme le montre notre dossier central.

La recherche à l'Inra s'accompagne d'une démarche éthique comme l'illustre le questionnement sur l'expérimentation animale, qui clôture ce numéro.

Bonne lecture.

La rédaction


INRA
INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
147 rue de l'Université • 75338 Paris Cedex 07
www.inra.fr

Directrice de la publication : Marion Guillou. **Directeur éditorial :** Jean-François Launay. **Directeur de la rédaction :** Antoine Besse. **Rédactrice en chef :** Pascale Mollier. **Rédaction :** Gérard Barbeau, Brigitte Cauvin, Géraud Chabriat, David Charamel, Evelyne Lhoste, Patricia Marhin, Sylvia Marion, Eric Mignard, Cécile Poulain, Annelise Schonbach, Aline Waquet. **Photothèque :** Jean-Marie Bossennec, Julien Lanson, Christophe Maître. **Couverture :** Photo : Andreas Stridsberg. **Maquette :** Patricia Perrot. **Conception initiale :** Citizen Press - www.citizen-press.fr. **Impression :** Imprimerie CARACTERE. Imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement. **Dépôt légal :** octobre 2011.





Renseignements et abonnement : inramagazine@paris.inra.fr

ISSN : 1958-3923

Un meilleur blé
pour la planète


© Inra / Gilles Cattiau

Décidée au G20, l'Initiative internationale de recherche pour l'amélioration du blé a été lancée à Paris en septembre. Elle va permettre d'améliorer les propriétés de la première source de protéines du monde.

Parmi les cinquante actions décidées en juin 2011 par les ministres de l'agriculture du G20 pour lutter contre les crises alimentaires planétaires et la volatilité des prix agricoles, l'une d'elles implique tout particulièrement la recherche agronomique : la création de l'« Initiative internationale de recherche pour l'amélioration du blé » (IRIWI pour International Research Initiative for Wheat Improvment). Cette initiative, actée le 15 septembre à Paris, vise à renforcer la sécurité alimentaire mondiale, en recherchant l'augmentation de la productivité, de la valeur nutritionnelle et de l'état sanitaire des cultures de blé dur et de blé tendre dans le cadre de pratiques et systèmes de production agricole durables. Elle va renforcer la synergie, les coopérations et les échanges entre les programmes de recherche internationaux d'amélioration du blé. Les actions coordonnées par l'IRIWI dans les domaines de la génétique, de la génomique et de l'agronomie permettront de créer de nouvelles variétés de blé et de mettre en place des pratiques agronomiques innovantes, adaptées à des environnements différents. Elles seront mises à la disposition des agriculteurs afin d'assurer une production mondiale plus importante, de meilleure qualité et plus stable. « *Avec IRIWI, la voix des scientifiques devrait peser plus lourd face aux choix politiques et permettra de mieux diriger les investissements. C'est nécessaire pour initier les futurs projets d'envergure comme le phénotypage* » explique Hans Braun du Centre international pour l'amélioration du maïs et du blé (CIMMYT). L'Inra, avec le Biotechnology and Biological Sciences Research Council (BBSRC) en Grande-Bretagne et du CIMMYT basé au Mexique, s'est engagé à coordonner les activités de l'IRIWI durant les quatre premières années du projet. Cela vient renforcer l'implication de longue date de l'Institut dans la recherche sur l'amélioration du blé comme le projet Breedwheat sélectionné début 2011 par le programme français « Investissements d'avenir ». Le blé est l'un des principaux aliments de base de la population mondiale mais les niveaux de production agricole actuels ne permettront pas de satisfaire la demande. Avec une population de 9 milliards en 2050, la FAO estime qu'il faudrait accroître la production agricole mondiale de 70 % à cet horizon. Pour cela, les gains annuels de rendement devront dépasser 1,7 % alors qu'ils atteignent à peine 1 % aujourd'hui. Les aléas climatiques répétés dans un contexte de changements globaux, la hausse constante des prix du pétrole, la spéculation sur les marchés agricoles sont

INTERVIEW



Bruno Le Maire,

MINISTRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION, DE LA PÊCHE, DE LA RURALITÉ ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

L'agriculture a-t-elle besoin de décisions mondiales ?

Bruno Le Maire : En 2008, nous avons connu les émeutes de la faim ; cette année, une nouvelle famine frappe la Corne de l'Afrique. Elle provoque des milliers de morts et pousse de nombreuses familles à l'exode. Depuis des années, nous connaissons ces crises à répétition. Nous voyons tous que nous avons été incapables de résoudre le problème de la faim dans le monde et nous savons que nous devrons, mécaniquement, augmenter la production alimentaire mondiale de 70 % dans les cinquante prochaines années, si nous voulons nourrir correctement la planète. La faim dans le monde est un scandale. Elle exige une action immédiate et résolue de la communauté internationale, car il n'y a pas de solution nationale, il n'y a que des décisions mondiales. Ces décisions, ce sont celles qui ont été prises au G20 agricole. Elles permettront de mettre en place une stratégie de développement agricole dans les pays les plus pauvres, et d'augmenter la production mondiale tout en préservant les sols et l'environnement. Mais pour y parvenir, nous avons besoin de la recherche et de l'innovation.

En quoi l'accord du G20 signé à Paris est-il historique ?

B. LM. : C'est un accord historique, car c'est la première fois dans l'histoire du G20 que les vingt plus grandes puissances de la planète, qui représentent, je le rappelle, 85 % du commerce des matières premières mondiales, et les principales organisations internationales, décident de se saisir du sujet agricole.
Alors que certains disaient que l'agriculture était une activité du passé, alors que beaucoup de nos partenaires considéraient avec méfiance toute velléité de la Présidence française en matière agricole, alors que nos idées sur la régulation de l'agriculture mondiale étaient considérées au mieux comme de l'interventionnisme anti-économie de marché, au pire comme des atteintes à la souveraineté nationale, aujourd'hui, nous avons un consensus mondial pour reconnaître que l'intuition du Président de la République était la bonne. Face à l'immense défi agricole et alimentaire mondial, il fallait remettre l'agriculture en haut de l'agenda international. Et je crois que chacun a pris la mesure de ce défi.
Enfin, c'est un accord historique parce que c'est un accord sur un plan d'action concret, en 5 volets : l'accroissement durable de la production agricole, notamment dans les pays en développement ; l'amélioration de la transparence des marchés avec la mise en place d'un système d'information sur les marchés agricoles ; une meilleure coordination internationale pour prévenir et gérer les crises agricoles grâce à un forum de réaction rapide aux crises de marché ; la mise en place d'outils de lutte contre la volatilité à la disposition des pays les plus vulnérables et la régulation des marchés de dérivés des matières premières et la lutte contre la spéculation.

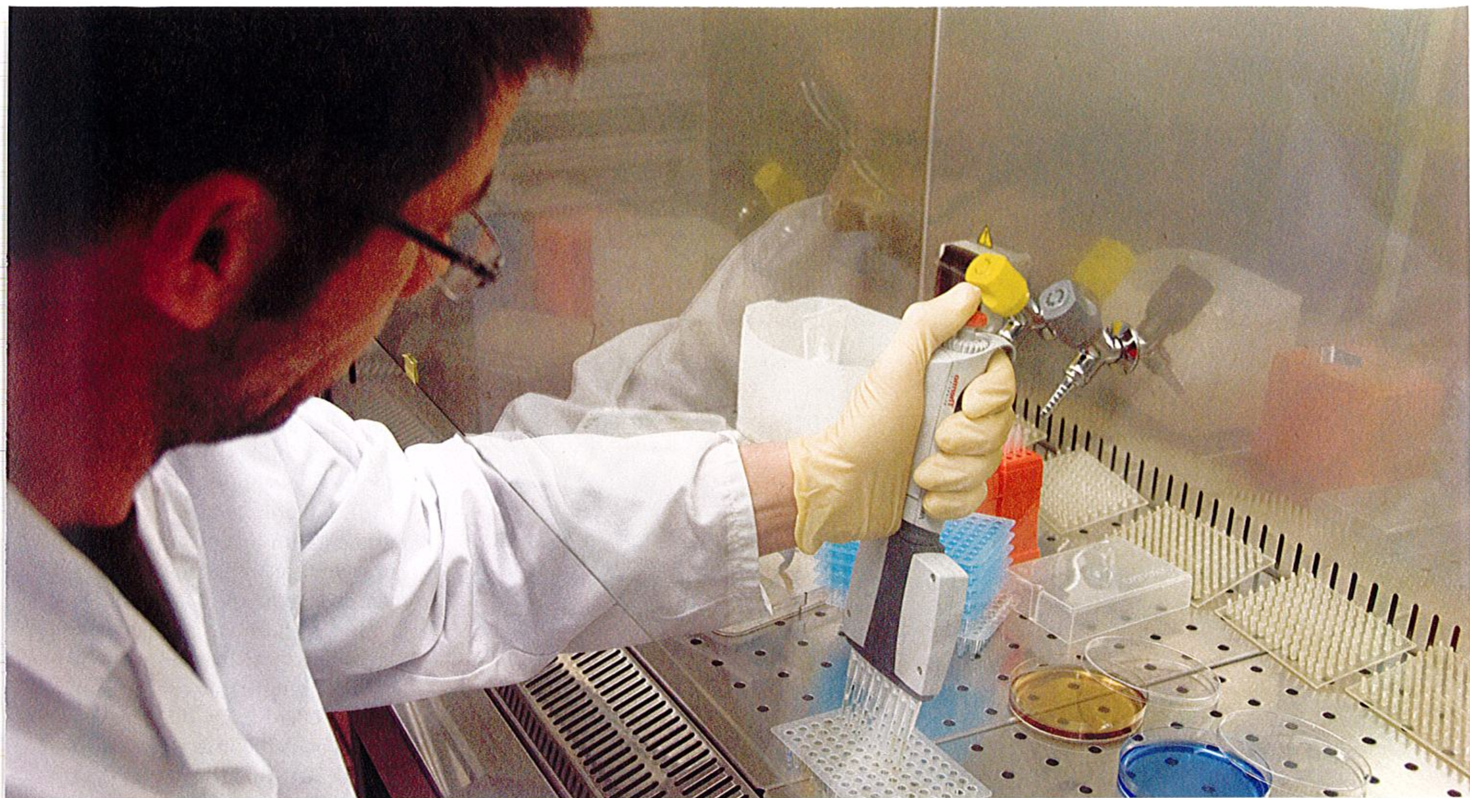
Comment cet accord va-t-il aider la recherche sur le blé en particulier ?

B. LM. : Nous avons voulu placer la recherche et l'innovation dans le domaine agricole au cœur du G20 parce que nous savons tous que nous ne parviendrons pas à produire plus et mieux, sans une meilleure coordination de nos efforts de recherche. Le lancement de l'initiative IRIWI est l'une des premières réalisations concrètes du plan d'action du G20 et je salue la rapidité avec laquelle la communauté scientifique internationale s'est mobilisée pour lancer ce partenariat mondial. Vingt-trois pays du Nord comme du Sud se sont réunis lors du lancement d'IRIWI. Nous devons réussir à améliorer le blé dans toutes ses composantes : sa productivité, sa qualité nutritionnelle, sa résistance, sa consommation en eau, etc.
Le blé est le premier aliment pour plus de 1,2 milliard d'individus dans le monde. IRIWI est donc aux avant-postes pour apporter des réponses concrètes dans la bataille que nous menons pour la sécurité alimentaire. Je souhaite que la prochaine présidence mexicaine du G20 puisse prendre le relais de cette initiative avec un seul objectif : nourrir mieux demain la planète.

autant de facteurs qui renforcent la volatilité des prix agricoles et menacent la sécurité alimentaire dans de nombreux pays. Les pays du Nord et du Sud partagent le besoin d'améliorer le rendement, la tolérance aux stress et aux maladies, la qualité et l'efficience d'utilisation des ressources. Le développement de meilleures pratiques agronomiques et de systèmes de culture innovants reste également une priorité. « *Avec IRIWI nous mettons en place un véritable forum entre les pays du Nord et du Sud. Le Nord bénéficie des retours d'expérience dans les pays les plus chauds et les pays du Sud bénéficient des données issues de techniques très coûteuses comme la génomique* » explique Indu Sharma, directrice de projets au Directorate of Wheat Research en Inde. Plusieurs programmes de recherche nationaux d'envergure ont été lancés récemment sur le blé dans les pays du Nord. Le CIMMYT et le Centre international pour la recherche agricole dans les zones arides (ICARDA) ont également soumis au Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale le programme de recherche WHEAT qui vise à améliorer les variétés et les systèmes de production du blé dans les pays en développement. Pour Hélène Lucas de l'Inra, coordinatrice, « *IRIWI n'est pas un programme scientifique supplémentaire qui concurrencerait ceux qui existent déjà. C'est une plateforme d'échange et de communication entre ces programmes afin de mieux utiliser les fonds attribués* ». L'IRIWI ouvrira la voie à des initiatives similaires portant sur d'autres cultures constituant la base de la nutrition de la population mondiale (riz, maïs, millet, sorgho, etc.).

Antoine Besse

+d'infos
web :
www.inra.fr/les_partenariats/ameliorer_le_ble_pour_la_securite_alimentaire_mondiale


© Inra / Bertrand Nicolas

L'avenir de la métagénomique

La métagénomique, qui permet d'étudier les génomes d'organismes vivants impossibles à cultiver, ouvre de grandes perspectives en alimentation et en santé humaine. L'unité Micalis, bientôt réunie à Jouy-en-Josas, se situe à la pointe de ces recherches.

Le 20 septembre, la première pierre du bâtiment Xavier Leverve a été posée au centre Inra de Jouy-en-Josas. Ce futur bâtiment de 4 000 m^2 fait partie du projet de regroupement des 350 chercheurs de l'unité Micalis qui œuvrent dans le domaine de la microbiologie et de l'alimentation. Parmi eux, se trouvent les plus grands spécialistes français en métagénomique. Cette méthode a acquis une importance considérable dans le paysage scientifique actuel. Apparue en 1996, elle associe séquençage haut débit et bioinformatique, et permet l'analyse globale des génomes de tous les microorganismes d'un écosystème même lorsqu'ils ne sont pas cultivables. Elle donne accès à une mine d'informations sur des populations jusque-là inaccessibles comme par exemple les bactéries de notre tube digestif (le microbiote intestinal). La métagénomique quantitative établit l'ensemble des gènes d'un microbiote et leur proportion relative tandis que la métagénomique fonctionnelle détermine les molécules synthétisées par un microbiote et leur interaction avec les cellules humaines.

Les utilisateurs qui exploitent les données recueillies sont aussi bien des industries agroalimentaires et biotechnologiques que des laboratoires pharmaceutiques ou des instituts de recherche. Les applications sont très diverses : possibilité de mise au point et de commercialisation de nouveaux aliments, mise au point de marqueurs de diagnostic et de pronostic ; nouvelles voies thérapeutiques dans les pathologies de la digestion et de l'alimentation. Le développement de la métagénomique de la flore de l'intestin humain contribue à des avancées importantes comme la personnalisation des traitements, la conception d'aliments à effet santé positif ou encore l'identification de nouveaux biomarqueurs de risques pathologiques. Enfin, dans un futur plus éloigné, il pourra être possible d'intervenir directement sur le microbiote intestinal en appliquant des substances promotrices ou inhibitrices voire d'installer une nouvelle flore intestinale chez un patient.

L'Inra a construit une expertise mondialement reconnue dans ce domaine qui a donné lieu à de nombreuses publications internationales. L'Institut a également participé à de multiples projets nationaux et internationaux mettant en œuvre la métagénomique avec, par exemple, le projet européen MetaHIT sur les gènes du microbiote intestinal humain. En outre, dans la définition des orientations de recherche de l'Inra pour la période 2010-2020, la métagénomique bénéficie d'un programme dédié : « Méta-omiques des écosystèmes microbiens ». Dirigé par Emmanuelle Maguin, chef du département Microbiologie et chaîne alimentaire, il a pour objectifs de modéliser des écosystèmes encore peu connus, d'en estimer la diversité génétique… Le périmètre du programme comprend les agrosystèmes, les digesteurs, les aliments et la santé. Ces problématiques connaissent un grand essor international : les Etats-Unis ont par exemple financé à hauteur de 115 millions de dollars le « Human Microbiome Project ». Il reste désormais à changer d'échelle pour passer aux applications industrielles qui intéressent potentiellement plusieurs secteurs : l'alimentation, le diagnostic et la santé. ●

Antoine Besse

+d'infos

voir les vidéos :

www.inra.fr/l_institut/premiere_pierre_du_batiment_xavier_leverve

Nouvelle vague d'investissements



© DR

Les Investissements d'avenir ouvrent une nouvelle fenêtre de financement après celle du début 2011. L'ensemble des catégories depuis « Initiatives d'excellence » jusqu'à « Démonstrateurs préindustriels en biotechnologie » en passant par « Equipements d'excellence » est concerné. Les résultats de ce deuxième - et dernier - appel à projets seront dévoilés en 2012. René Ricol, commissaire général à l'investissement, nous rappelle la philosophie de ces Investissements d'avenir.

Quel est le rôle du Commissariat à l'Investissement ?

René Ricol : Nous sommes des facilitateurs et des garants de la règle du jeu. Nous poussons à faire aboutir les projets que nous considérons comme les meilleurs mais c'est bien le jury qui décide *in fine*. Une fois que le jury a fait son choix, le Premier ministre prend la décision finale sur la base de l'avis que je lui ai donné. Lorsqu'il s'agit de jurys scientifiques internationaux - comme pour le projet Démonstrateurs préindustriels - notre position est de ne pas les désavouer. Nous sommes également garants qu'il n'y ait pas de passe-droit et que le jugement se fasse en fonction des qualités et des mérites de chacun. Enfin, nous nous assurons que les engagements pris sont respectés. Nous cherchons d'abord le retour sur investissement en sélectionnant des projets d'avenir prometteurs, quitte à prendre des risques. Si le projet réussit, chacun doit être gagnant : non seulement les industriels et les chercheurs, mais aussi l'État, les opérateurs et les collectivités.

Que pensez-vous du déroulement des Investissements d'avenir jusqu'ici ?

R. R. : Tous les appels à projets que nous avons lancés ont, jusqu'à présent, suscité une mobilisation incroyable. Cette émulation est bien le signe de la variété et de la pertinence de notre recherche, mais aussi celui du dynamisme des équipes, de leur envie d'avancer et de repousser les limites du savoir. J'ai conscience que postuler représente un investissement lourd, qui s'ajoute aux missions d'enseignement et de recherche. Mais quand bien même la production scientifique aurait à en souffrir pendant quelques semaines, il me semble que ce n'est jamais du temps perdu. Car, que l'on gagne ou que l'on perde, le temps et l'énergie passés à structurer un projet, à s'interroger sur l'équipement manquant, à rechercher des partenariats ne seront jamais du temps et de l'énergie gaspillés.

Pouvez-vous préciser l'importance de la catégorie « Démonstrateurs préindustriels en biotechnologie » ?

R. R. : Le passage de la recherche fondamentale ou appliquée à la production de masse a besoin d'une étape cruciale : la preuve de concept industrielle, apportée entre autres par des démonstrateurs préindustriels. L'appel à projets « Démonstrateurs préindustriels en biotechnologie » a pour objectif de lever ces verrous et d'ouvrir la voie à l'industrialisation des processus biologiques et au-delà de donner à la France la possibilité de créer sur son sol de nouvelles filières industrielles. La nouvelle vague d'appels à projets dans le cadre des Investissements d'avenir va permettre de créer de tels démonstrateurs, en co-financement avec les entreprises. A titre d'exemple, je pense au projet «Toulouse White Biotechnology » piloté par l'Inra et lauréat l'an dernier, qui prévoit de « démontrer » la viabilité économique d'une filière utilisant les microorganismes pour produire, à partir de la biomasse végétale, des substituts au carbone fossile ou bien encore de nouvelles molécules industrielles à haute valeur ajoutée. ●

Propos recueillis par Antoine Besse

Pâturages contre marée verte


© Rémi Lebastard

Depuis 2008, les chercheurs de l'Inra travaillent avec les acteurs locaux (collectivités territoriales et chambres d'agriculture) du bassin versant de la Lieue de Grève dans les Côtes-d'Armor sur un programme d'actions pour lutter contre les algues vertes.

Malgré une évolution importante des pratiques agricoles et une stabilisation des concentrations en nitrates des cours d'eau aux alentours de 30 mg/l, les algues vertes continuent de se développer chaque été sur les plages de la Baie de St-Michel-en-Grève. Rapidement, un constat s'impose : au vu de la sensibilité de ce bassin versant, réduire la quantité d'algues vertes suppose une baisse drastique du taux de nitrate jusque 10 mg/l. Les différents acteurs du bassin versant sont unanimes : un changement de pratiques ne suffira pas, il faut modifier profondément les systèmes de production.

Elaborer et tester des changements de système de production

« *L'histoire commence fin 2006*, se souvient Luc Delaby, chercheur à l'Inra de Rennes, *lorsque Lannion Trégor Agglomération et les chambres d'agriculture bretonnes nous ont sollicités pour les aider à élaborer des actions innovantes pour limiter les fuites de nitrate vers les rivières* ». Le bassin versant de la Lieue de Grève est un bassin d'élevage en production bovine, laitière et allaitante. L'idée de développer des systèmes à base d'herbe s'impose naturellement, l'herbe étant une culture pérenne adaptée à l'alimentation des bovins qui valorise l'azote toute l'année. Pour tester sur le terrain les solutions imaginées ensemble par les chercheurs, les acteurs locaux (développement agricole, collectivités locales) et les agriculteurs, le dispositif « Fermes pilotes » est mis en place, avec au départ dix fermes pilotes volontaires (1).

Expérimenter grandeur nature

Début 2011, les dix agriculteurs volontaires signent une charte individuelle d'évolution. « *Après la phase d'audit des exploitations, indispensable pour identifier au cas par cas les possibilités d'évolution vers un système plus herbager, nous avons défini des seuils qui nous semblaient intéressants pour limiter les fuites de nitrates* » précise Luc Delaby. Deux indicateurs guident ainsi l'évolution de ces exploitations : d'une part le taux de chargement en animal, fixé à 1,4 UGB (unité de gros bétail) par ha d'herbe, et d'autre part l'entrée d'azote sur l'exploitation, limité à 100 unités d'azote/ha de surface agricole utile. « *L'idée toujours présente est de réduire les entrées d'azote, de favoriser le recyclage interne et de stopper les pratiques favorables au lessivage* » souligne Luc Delaby. Couplée à l'expérimentation *in vivo*, la modélisation permet de tester *a priori* la validité et l'efficacité économique, environnementale et sociale des changements proposés. C'est aussi un outil essentiel pour simuler l'impact de l'évolution des exploitations sur la charge azotée totale du bassin versant. Chaque éleveur du dispositif Fermes pilotes bénéficie ainsi d'un accompagnement technique. « *Les premiers résultats sont encourageants même si le rythme d'évolution varie selon les exploitations* » note Luc Delaby. L'expérience va s'étendre dès l'automne aux 170 exploitations du bassin versant. Selon le plan national Algues vertes, 30% des engagements pris par les bassins versants devront avoir été tenus en 2015 et la totalité en 2027.

Patricia Marhin

(1) Le dispositif Fermes pilotes est orchestré par les équipes Inra des UMR « Production du lait » et « Sol, agro et hydrosystème, spatialisation » de Rennes. Il s'inscrit également dans le volet expérimental du projet ANR Acassya.

+d'infos

contacts :

Luc.Delaby@rennes.inra.fr
Laurent.Ruiz@rennes.inra.fr
Francoise.Vertes@rennes.inra.fr

Cocktails dangereux pour les abeilles


© Marek Kosmal / Fotolia.com

Une nouvelle étude menée conjointement par l'Inra et le CNRS montre les synergies entre les effets toxiques de certaines molécules insecticides et ceux du champignon pathogène *Nosema ceranae*. Explications.

Le constat est là : le taux de mortalité des abeilles devient préoccupant et la situation s'étend dans le monde. Ces dernières années, en Europe mais aussi en Amérique du Nord, la mortalité hivernale des abeilles se situe autour de 30 %. Plusieurs causes ont été envisagées : les produits phytosanitaires, les agents pathogènes et les parasites, les prédateurs (le frelon asiatique), l'appauvrissement de la nourriture, la pollution de l'air ou encore les champs électromagnétiques. Cependant, aucune ne permet à elle seule d'expliquer un tel phénomène. Aujourd'hui, la communauté scientifique se tourne vers l'hypothèse d'une interaction entre plusieurs sources de stress, mais lesquelles ? « *On sait que l'association de certains champignons et d'insecticides est utilisée pour lutter contre des insectes ravageurs comme les termites ou les fourmis, explique Yves Le Conte de l'Inra (1). D'où l'idée d'étudier l'association du champignon* Nosema ceranae *(2) et des insecticides systémiques de types imidaclopride, fipronil ou thiaclopride (3), des causes de stress apparues récemment.* »

La piste de la synergie confirmée pour trois molécules insecticides

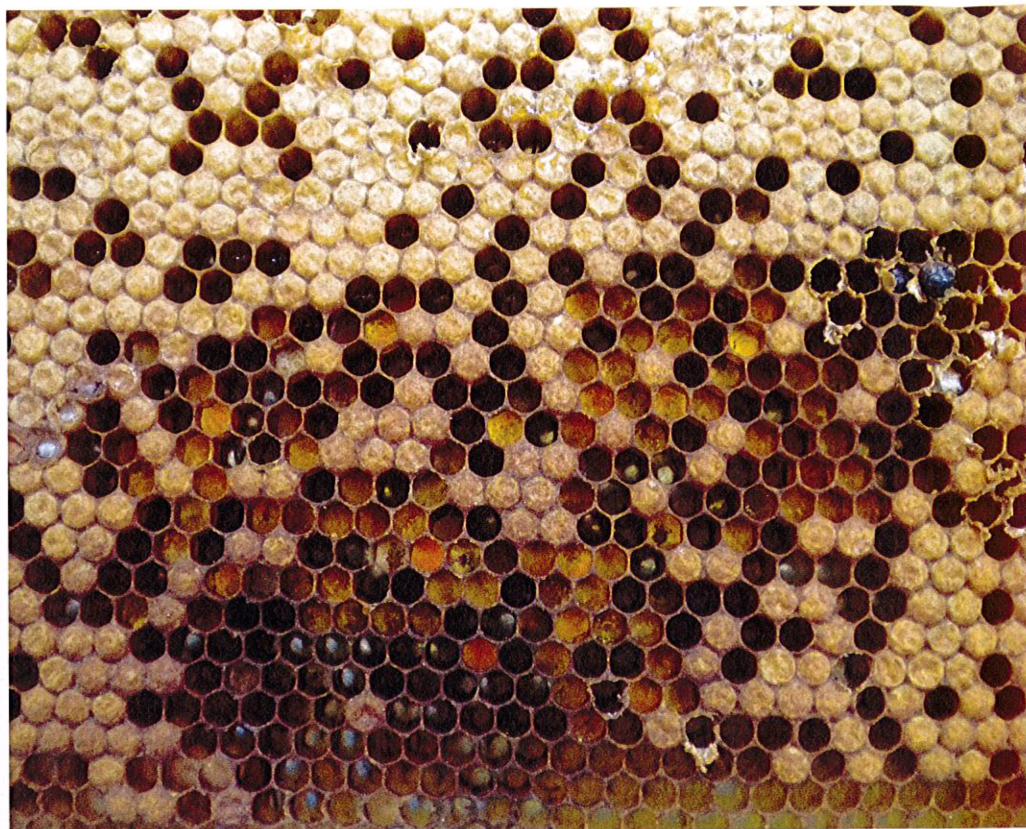
En 2009, les chercheurs Cédric Alaux, Luc Belzunces et Yves Le Conte (Inra d'Avignon) ont étudié les effets de l'interaction *Nosema ceranae*/imidaclopride sur la santé des abeilles. Ils ont analysé la mortalité individuelle, le stress énergétique, l'immunité individuelle et l'immunité sociale de la colonie. Plusieurs concentrations sublétales d'insecticide ont été testées : 0.7 µg, 7 µg et 70 µg par kg de sirop de sucre (7 µg/kg correspondant à une teneur compatible avec celles retrouvées dans le pollen). Résultats ? « *L'exposition simultanée à* Nosema *et au pesticide a un effet sur l'immunité sociale plus que sur l'immunité individuelle. Pour les concentrations de 0,7 et 7 µg/kg, l'effet avec* Nosema *est additif. Il est synergique* (4) *à la concentration de 70 µg/kg, avec un taux de mortalité qui bondit* » explique Luc Belzunces (5). En effet,

chez les abeilles soumises aux deux agents, l'activité de l'enzyme (6) produisant un antiseptique dans la nourriture des larves est significativement diminuée. De plus, la consommation de sucre par les abeilles augmente, révélant un stress énergétique accru. Conclusion : il y a synergie entre les deux types de stress.
En 2011, la revue *PLoS ONE* publie une seconde étude sur l'interaction pathogène/insecticide menée par le CNRS et l'Inra. Deux autres pesticides ont été testés : le thiaclopride et le fipronil. Les expositions aux sources de stress ont été réalisées cette fois de manière séquentielle sur six groupes d'abeilles. « *C'est une étude de sensibilisation*, explique Luc Belzunces. *En exposant préalablement les abeilles à un agent stresseur, il est possible d'observer la sensibilisation à un autre agent* ». Dans le cas présent, le premier agent - le champignon *Nosema* - fragilise les abeilles. A la fin de l'expérimentation, alors que le taux de mortalité des abeilles infectées par *Nosema* atteignait 47%, celui des abeilles infectées préalablement puis exposées chroniquement à des doses sublétales de fipronil et de thiaclopride a atteint respectivement 82% et 71%. Cette étude démontre aussi qu'il est insuffisant de se baser sur la valeur de la DL50 (7), l'indicateur de toxicité des insecticides. « *La DL50 ne rend pas compte de la toxicité chronique des insecticides à des concentrations sublétales, il s'agit juste d'une valeur de référence pour comparer la toxicité des substances chimiques* » souligne Luc Belzunces. Or, les abeilles infectées de façon chronique avec ces insecticides présentent des symptômes anormaux : dès les premiers jours, agressivité et tremblements, puis, quelques jours plus tard, des troubles de la coordination.

Pesticides : mieux les évaluer, mieux les contrôler

L'interaction entre *Nosema ceranae* et les insecticides des familles néonicotinoïdes et phénylpyrazoles aggrave le risque pour les abeilles. « *Pesticides et polluants sont des éléments perturbants qui s'ajoutent aux pathogènes déjà présents dans l'environnement* » souligne Luc Belzunces. Et force est de constater que le pollen butiné par les abeilles domestiques ou sauvages contient souvent… « *un pesticide et même parfois deux ou trois !* » précise Yves Le Conte. Si l'on y ajoute les virus et acaricides retrouvés dans la ruche, le cocktail ingurgité par les abeilles peut devenir détonant. Alors que faire ? Interdire les pesticides ? « *Impossible, on en a besoin pour l'agriculture* » réplique Yves Le Conte. Interdire une molécule ? « *Cela prend dix ans et une fois interdite, elle est remplacée par « sa petite sœur »* » renchérit Luc Belzunces. Sans compter que certaines molécules interdites en Europe, pour laquelle il existe une réglementation partagée, peuvent être en vente dans des pays extérieurs à la Communauté européenne. Pour Luc Belzunces « *il faut revoir les méthodes d'évaluation de la toxicité pour les abeilles afin que soient pris en compte les contaminations chroniques et les effets des doses sublétales* ».
Pour cela, la recherche continue ses travaux. A l'automne, l'Inra publiera une étude consacrée aux effets des toxicités aiguë et chronique de 25 molécules. Du côté des pathogènes et de leur interaction avec les pesticides, le travail continue avec *Nosema* mais aussi avec le varroa, un acarien parasite des abeilles combattu depuis longtemps par les apiculteurs à l'aide d'acaricides.

Annelise Schonbach



© Inra / Luc Belzunces

COUVAIN D'ABEILLES avec des cellules de pollen (en jaune). Le pollen et le miel qui servent à nourrir les larves contiennent des molécules antibactériennes. C'est une forme d'immunité sociale.

(1) et (5) Yves Le Conte et Luc Belzunces sont directeurs de Recherche à l'Unité mixte « Abeilles et Environnement » de l'Inra d'Avignon.

(2) *Nosema ceranae* : champignon microscopique d'origine asiatique, mis en évidence en Europe en 2006. Il colonise l'intestin des abeilles et provoque la maladie appelée nosémose.

(3) L'imidaclopride, le thiaclopride (famille des néonicotinoïdes) et le fipronil (famille des phénylpyrazoles) sont les substances actives respectivement du Gaucho, du Proteus et du Regent TS, insecticides utilisés sur maïs et tournesol. Tous agissent sur le système nerveux des abeilles. Le Gaucho et le Régent ont été interdits en France en 2004 sur tournesol et maïs. Le thiaclopride est utilisé sur céréales et pommes de terre, betteraves et colza.

(4) La mortalité avec *Nosema* et le pesticide appliqués simultanément est supérieure à la somme des mortalités de chaque stress appliqué isolément.

(6) L'enzyme glucose oxydase (GOX), sécrétée par les glandes hypopharyngiennes situées dans la tête des ouvrières, transforme le sucre en produisant du peroxyde d'oxygène, antiseptique agissant sur l'alimentation larvaire et le miel.

(7) DL50 : dose létale 50%, dose causant la mort de 50% de la population testée.

+d'infos

références :

- Cédric Alaux, Luc Belzunces, Yves Le Conte *et al.* Interactions between Nosema microspores and a neonicotinoid weaken honeybees (Apis mellifera). *Environmental microbiology* 2009.
- Cyril Vidau, Luc Belzunces, *et al.* Exposure to Sublethal Doses of Fipronil and Thiacloprid Highly Increases Mortality of Honeybees Previously Infected by Nosema ceranae. *PLoS ONE* (juin 2011).

contacts :

luc.belzunces@avignon.inra.fr
yves.leconte@avignon.inra.fr

Le nitrate du sol contrôle le développement racinaire


© Inra / Christophe Maître

A l'Inra de Montpellier, Gabriel Krouk a mis en lumière un mécanisme original de contrôle du développement racinaire. Ce travail de thèse a reçu en juin 2011 le prix AXA-Académie des sciences récompensant les grandes avancées scientifiques françaises en biologie.

L'azote nécessaire à la synthèse des protéines provient essentiellement chez les plantes des ions nitrates qu'elles prélèvent dans le sol. L'efficacité de ce prélèvement est liée à deux facteurs : d'une part au développement du système racinaire contrôlé par une hormone, l'auxine, et d'autre part à l'activité de protéines membranaires qui transportent le nitrate dans les cellules des racines. Le présent travail montre par quel mécanisme ces deux facettes de l'absorption racinaire du nitrate sont coordonnées entre elles.

Un même transporteur pour le nitrate et l'auxine

Premier indice : un transporteur de nitrate est impliqué dans le contrôle de la croissance des racines.
On connaît au moins deux familles de transporteurs membranaires du nitrate dans les racines (NRT1 et NRT2). L'équipe (1) dans laquelle Gabriel Krouk a effectué sa thèse a mis en évidence que des plantes mutantes d'*Arabidopsis* (2) n'exprimant pas un des membres de la famille NRT1 (le transporteur NRT 1.1) présentaient un défaut de réponse du développement racinaire au nitrate. En effet, alors que les racines des plantes sauvages sont capables de détecter la présence de nitrate dans le milieu, et de se développer préférentiellement là où il est abondant, les racines des plantes mutantes ont un développement insensible au nitrate. D'où la conclusion que NRT1.1 est impliqué dans le mécanisme de perception du nitrate et favorise la colonisation racinaire des zones du sol riches en cet ion.
Deuxième indice : NRT1.1 ressemble à un transporteur d'auxine, hormone de croissance végétale.
L'auxine est une hormone végétale qui joue un rôle très important dans le développement racinaire : son accumulation dans les jeunes racines latérales est indispensable à leur croissance. Gabriel Krouk remarque dans la bibliographie que NRT1.1 ressemble à certaines protéines capables de transporter à la fois du nitrate et de l'histidine, molécule très proche de l'auxine. Ce qui l'amène à postuler que NRT1.1 peut transporter de l'auxine, en plus du nitrate.
Première preuve : NRT1-1 transporte de l'auxine.
L'hypothèse que NRT1.1 est un transporteur d'auxine a été vérifiée en montrant que des ovocytes de Xénope exprimant la protéine NRT1.1 sont capables de prélever l'auxine présente dans le milieu.

Tout s'explique…

La suite du travail a permis d'élucider le mécanisme de contrôle du développement des racines latérales par NRT1.1. Lorsque le milieu est pauvre en nitrate, NRT1.1 fait circuler l'auxine hors de la racine latérale (vers la racine primaire), il n'y a pas d'accumulation de l'hormone dans la racine latérale, et donc pas de croissance. Au contraire, en milieu riche en nitrate, NRT1.1 arrête de faire circuler l'auxine, qui reste bloquée dans les racines latérales et favorise ainsi leur croissance.
Chez le mutant privé de NRT1.1,

l'auxine reste toujours bloquée et le mutant développe des racines latérales qu'il y ait ou non du nitrate dans le milieu.
La validation *in planta* a été réalisée en étudiant l'accumulation d'auxine dans les racines latérales de plantes sauvages et de mutants avec ou sans nitrate (voir la figure).

Cette étude a permis de découvrir un des mécanismes naturels que mettent en œuvre les plantes pour optimiser l'acquisition du nitrate. On peut espérer que ceci ouvrira une voie nouvelle pour la sélection de plantes plus efficaces dans l'utilisation des engrais azotés. ●

Eric Mignard

(1) Unité mixte de recherche Inra CNRS UM2 Montpellier SupAgro « Biochimie et physiologie moléculaire des plantes », équipe « Intégration des fonctions nutritives dans la plante entière ».
(2) Petite plante de la famille des moutardes, utilisée comme modèle végétal.

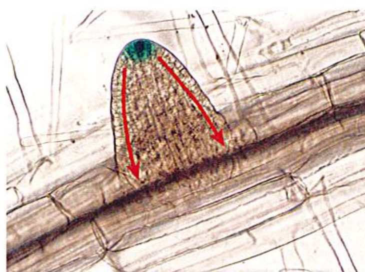
+d'infos

référence :
Krouk G. *et al.* 2010. Nitrate-regulated auxin transport by NRT1.1 defines a mechanism for nutrient sensing in plants. *Dev Cell* 18: 927-937.
contact : alain.gojon@supagro.inra.fr

Modèle de la régulation du développement racinaire par le nitrate

En milieu sans nitrate | **En milieu avec nitrate**

PLANTE SAUVAGE

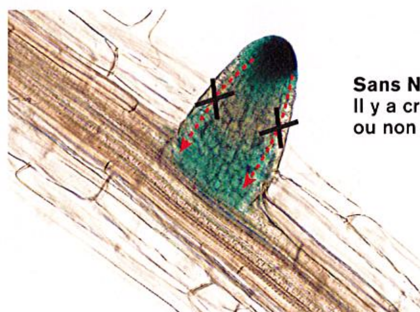


La coloration bleue marque l'accumulation d'auxine
NRT1.1 fait circuler l'auxine (flèches rouges), évitant son accumulation : il n'y a pas croissance racinaire



NRT1.1 arrête de faire circuler l'auxine, qui s'accumule : il y a croissance racinaire

MUTANT SANS NRT1.1



Sans NRT1.1
Il y a croissance qu'il y ait ou non du nitrate dans le milieu

UNE PROTÉINE D'UN NOUVEAU GENRE

Interview d'Alain Gojon, directeur de recherche, responsable de l'équipe

Quelles sont les thématiques développées au sein de votre équipe ?

Alain Gojon : Nous nous intéressons aux mécanismes qui régulent l'absorption de l'azote minéral par le système racinaire et à la manière dont les plantes s'adaptent aux fluctuations d'azote dans le sol.
Elles le font soit en modulant l'activité des transporteurs de nitrate membranaires, soit en modifiant le développement du système racinaire. Nous avons une démarche intégrative qui combine l'étude de ces deux types de réponse.

En quoi le travail de Gabriel Krouk est-il original ?

A. G. : On savait que les plantes sont capables de détecter la présence du nitrate dans le milieu, mais le système de détection, et surtout son rôle dans le développement racinaire, étaient inconnus. Le travail de Gabriel, et des autres personnes de l'équipe qui ont œuvré avec lui, décortique le mécanisme d'action de ce système de détection, et met en évidence une protéine d'un nouveau genre, appelée « transcepteur », contraction de transporteur et récepteur. NRT1.1 est non seulement capable de faire rentrer l'ion -ici, le nitrate- dans les cellules de la plante, mais aussi de générer un signal -ici une modification hormonale- qui induit une réaction de la plante à la présence de cet ion, en l'occurrence un développement accru des racines.

Comment ce travail sera-t-il poursuivi ?

A. G. : Les succès obtenus par Gabriel lors de sa thèse lui ont ouvert des opportunités : il a obtenu une bourse Marie Curie pour un séjour postdoctoral au *Center for Genomics and Systems Biology* de l'Université de New York, où il a continué d'étudier la nutrition azotée des plantes. De plus, il vient d'être recruté comme chargé de recherche par le CNRS dans mon équipe. Son projet actuel, soutenu par un programme ANR qui lui assure trois ans de financement, porte sur la modélisation des réseaux de gènes. Cette approche permet d'étudier, et à terme, de prédire, les interactions d'un ensemble de gènes impliqués dans la nutrition azotée.

Quels sont les impacts potentiels d'un tel résultat ?

A. G. : Les préoccupations environnementales gagnent du terrain… Parmi elles, les conséquences néfastes d'un excès d'utilisation des engrais azotés en agriculture (par exemple, la pollution par le nitrate des nappes phréatiques, des rivières et des zones littorales). Les travaux de Gabriel ouvrent une voie vers la production de plantes plus efficientes dans leur utilisation du nitrate des engrais, en particulier grâce à un développement plus important du système racinaire qui leur permettrait de mieux exploiter le nitrate lorsqu'il est en faible quantité dans le sol.

Le bon tuyau de l'innovation



© Neosens SA

CAPTEUR MACRO (à gauche) : **la partie sensible se trouve à l'extrémité de la tige métallique et est insérée dans le procédé. Puce électronique illustrant la miniaturisation de l'élément sensible du capteur** (à droite).

Un système permettant de mesurer l'état d'encrassement au cœur des installations industrielles a impulsé en moins de cinq ans le développement d'une entreprise innovante, et la création de quinze emplois.

Ce capteur mis au point à l'Inra de Toulouse et de Lille permet de mesurer en ligne et en continu les phénomènes d'encrassement rencontrés dans les procédés industriels de traitement ou de transformation de fluides (fluides agroalimentaires ou biologiques, eaux de refroidissement...). « *Nous cherchions à fournir un outil simple, robuste et précis pour quantifier l'encrassement lors des phases de production. Ces informations sont devenues indispensables pour mieux gérer les cycles de nettoyage et économiser ainsi de l'énergie tout en limitant les rejets polluants* » explique Luc Fillaudeau (1). Cette innovation technologique a fait l'objet de cinq dépôts de brevets depuis 2006, dont un sous licence exclusive avec la société toulousaine Neosens SA, et a reçu quatre prix et trophées sur la même période.

La collaboration entre Neosens et l'Inra a commencé en 2006 pour développer et porter sur le marché les premiers capteurs en version « macro ». Le partenariat se traduit par le développement d'une gamme de sondes robustes et résistantes à des températures allant jusqu'à 150°C, qui équipe aujourd'hui de nombreux sites industriels nationaux et internationaux. Ces innovations ont permis de lever près de 6.5 M€de fonds et de créer une quinzaine d'emplois au sein de la société Neosens. On trouve les capteurs dans les tours aéroréfrigérées des circuits de refroidissement, qui sont exposées à un encrassement à la fois par le tartre et par les biofilms bactériens (*Legionella* en particulier), dans les circuits d'eaux résiduaires de papeterie, ou encore dans les lignes de pasteurisation et stérilisation dans l'industrie laitière.

Les dernières recherches conduites en partenariat (2) ont permis, d'une part de miniaturiser l'élément sensible du capteur sous forme de puce électronique, d'autre part d'introduire un perfectionnement qui permet d'avoir des informations sur la nature du dépôt (tartre, dépôts organiques ou biofilm). Les versions « macro » et « micro » des capteurs sont désormais complémentaires en termes de temps de réponse et de limites de détection et de quantification.

A l'avenir, des capteurs résistant à plusieurs centaines de degrés Celsius permettront d'étendre l'application à d'autres types d'industries, comme la chimie ou la pétrochimie, dans lesquelles les contraintes des procédés (température, pression, environnement chimique) sont plus drastiques que dans l'agroalimentaire.

David Charamel

(1) Chercheur au laboratoire « Ingénierie des systèmes biologiques et des procédés » de l'Inra de Toulouse.

(2) Partenaires : Neosens ; Laboratoire d'ingénierie des systèmes biologiques et des procédés, Inra/CNRS, Toulouse ; Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes, CNRS, Toulouse ; Centre interuniversitaire de recherche et d'ingénierie des matériaux, CNRS, Toulouse.

Principe du capteur

Positionné de manière affleurante ou intrusive dans les équipements industriels (lignes de procédés, échangeurs, réacteurs, etc.), le capteur dissipe de façon imperceptible une quantité de chaleur, et fournit en retour une mesure en ligne et en continu de la variation de température qui permet d'estimer l'épaisseur du dépôt : plus l'encrassement est important, plus l'échauffement est élevé.

+d'infos

web :
www.neo-sens.com/en/success-stories

contact scientifique :
luc.fillaudeau@insa-toulouse.fr

contact industriel :
laurent.auret@neosens.com

Gérer le manque d'eau en agriculture

D'après les derniers scénarios climatiques, les sécheresses seront plus fréquentes à l'avenir. L'Inra mène donc de nombreuses recherches visant à offrir aux agriculteurs les moyens de gérer ce risque.
A court terme, il s'agit d'anticiper au mieux l'épisode de sécheresse, d'en caractériser l'ampleur et d'optimiser les systèmes de cultures existants.
A plus long terme, ces derniers devront être repensés pour conjuguer résistance au manque d'eau et compétitivité. L'Inra s'investit également au-delà de la question agricole. En effet, l'Institut participe aux efforts de l'ensemble des acteurs concernés par une meilleure gestion territoriale de l'eau entre ses différents usages.


INRA


© Inra / Marc Benoît

1 Sécheresse 2011, l'hiver du décor

Les premiers mois de l'année, peu arrosés, ont créé une sécheresse atypique en France. Très préoccupant sans être gravissime, cet épisode climatique se reproduira sans doute à l'avenir... sans que l'on sache prévoir précisément quand !

Après avoir fait la Une des médias pendant tout le mois de mai, la gravité de la sécheresse a été remise en question dès les premières pluies. Pourtant, ce n'est pas parce qu'il a plu en juin et juillet que les conséquences de la sécheresse installée au cours des mois précédents ont été résorbées ! En effet, pour la plupart des productions végétales, le rendement et la qualité s'élaborent très tôt au printemps et une absence d'eau à cette période entraîne inévitablement une baisse de production. De plus, les pluies d'été sont captées en premier lieu par la végétation, dont la demande en eau est très forte à cette période, avant de pouvoir reconstituer les réserves des sols et *a fortiori* celles des nappes souterraines. Plus généralement, comment qualifier et quantifier la gravité de cet épisode de sécheresse, et comment le positionner dans le contexte de l'évolution globale du climat ?

Hiver et printemps secs... du jamais vu depuis 50 ans

Comme cela s'était déjà produit lors d'autres épisodes historiques récents (1976, 1997, 2003 et 2005), l'anticyclone des Açores s'est déplacé au début du printemps de 500 km environ vers le Nord pour s'installer durablement sur l'Europe occidentale, son influence s'étendant jusqu'à la Pologne, voire l'Ukraine. Résultat : une quantité de pluie très faible de mars à mai. Ce printemps très sec a fait suite à un hiver peu arrosé (-40 à 60% de pluies cumulées de janvier à mai par rapport à la moyenne sur la période 1965-2010) qui n'a pas permis aux nappes souterraines de se recharger, à l'exception des régions méditerranéennes où les pluies hivernales ont été excédentaires. C'est donc la continuité de la sécheresse entre l'hiver et le printemps qui a conduit à cette situation exceptionnelle. Dans les épisodes précédents, nous avions bénéficié soit d'une période de recharge des nappes satisfaisante en hiver (2003), soit d'épisodes pluvieux au printemps (1997, 2005). En 1976, le printemps avait été moins sec et le niveau de sécheresse des sols n'avait pas atteint celui de 2011 à la mi-avril, record historique depuis 50 ans.

Un impact variable selon les cultures et selon les régions

Comme lors de chaque sécheresse majeure, l'élevage est le secteur le plus touché. En effet, la sécheresse printanière a affecté en premier lieu la production de fourrages dans les prairies permanentes comme dans les prairies

temporaires (fétuque, ray-grass), ainsi que les cultures de céréales destinées à l'alimentation animale (avoine, orge, triticale). Les productions de biomasse sur les coupes de printemps affichent des baisses de près de 50% dans le Centre-Ouest. Mais les pluies de juillet ont été très bénéfiques pour la production de l'automne.
Les cultures de printemps, et en particulier le maïs et le tournesol, ont été moins touchées. Grâce au retour des pluies en juin, seules les cultures en sol peu profond ont montré des signes de stress hydrique.

Focus sur les prairies permanentes

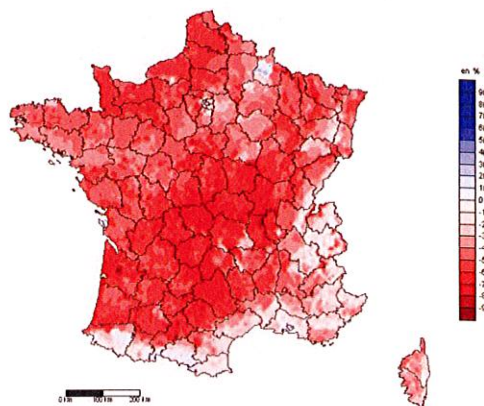
Si les prairies temporaires peuvent être réensemencées, les prairies permanentes peuvent mettre plusieurs années à retrouver leur équilibre suite à une sécheresse grave. Des travaux conduits à l'Inra, en parcelles expérimentales, montrent que certaines espèces peuvent fortement régresser (graminées, légumineuses), tandis que des espèces adventices tels les chardons ou l'oseille peuvent envahir les « trous » laissés libres par la disparition des végétations prairiales. Pour Pascal Carrère (1) « *Une prairie permanente doit bénéficier d'autant d'attention qu'une culture. Bien gérée et entretenue, elle est à même de résister à des stress importants et la diversité végétale qu'elle abrite lui permet une bonne régénération une fois l'épisode de sécheresse passé. Il faut raisonner à la fois la composition de la flore, la charge des animaux, la fertilisation et l'alternance pâturage/fauche* ». En curatif, sur les parcelles mécanisables, on peut pratiquer des « sursemis » après un travail superficiel du sol, pour réimplanter les espèces dominantes d'origine. Les travaux conduits actuellement sur les prairies à l'Inra sont synthétisés sous forme de typologies, qui fournissent aux exploitants, *via* les conseillers agricoles, des informations complètes sur la composition floristique, les valeurs agricoles et environnementales et les services que l'on peut en attendre. Ces typologies sont des éléments précieux de discussion avec les éleveurs pour adapter leurs pratiques au potentiel de production de leurs prairies (2).

Focus dans le Sud-Ouest

Certaines régions françaises ont été plus touchées par la sécheresse : le Sud-Ouest (Aquitaine, Poitou-Charentes), le Centre et le Nord-Est (Franche-Comté, Alsace). Cette année, il a moins plu à Bordeaux qu'à Avignon. Cette tendance à la sécheresse dans le Sud-Ouest s'ajoute à des caractéristiques défavorables : peu de rivières à gros débit et pas de nappes souterraines permettant le stockage de l'eau. Paradoxalement, le Sud-Est, qui possède un climat méditerranéen théoriquement plus sec, bénéficie de fortes ressources fluviales favorables à l'irrigation, avec le Rhône et la Durance, qui sont alimentés par la fonte des neiges des Alpes.

Prévisible ? Non, pas plusieurs mois à l'avance

Les modèles météorologiques actuels ne permettent pas de prédire les variations de climat d'une année sur l'autre : en effet, le climat européen est soumis à de multiples influences, ce qui rend difficile les prévisions de la température et de la pluviométrie plusieurs mois à l'avance.
Par contre, on peut dégager les tendances du climat à long terme : une augmentation de la température moyenne et une baisse quasi-générale de la pluviométrie estivale (source : météo France). Les scénarios du GIEC (3) prévoient une augmentation de la température moyenne de 2 à 4°C d'ici la fin du siècle et un déficit pluviométrique au printemps et en été plus fort à l'Ouest qu'à l'Est.



CARTE DE L'INDICE D'HUMIDITÉ des sols en écart/moyenne 1971-2000 (source : météo France au 1er juillet 2011).
En juillet, la sécheresse des sols superficiels demeure critique, avec des déficits parmi les plus élevés depuis 50 ans sur le Poitou-Charentes, le Centre, le Limousin, l'Aquitaine, le Tarn et l'Aveyron.

Un risque à intégrer dans les pratiques

En résumé, les sécheresses, aggravées par des vagues de chaleur, risquent d'être plus fréquentes à l'avenir, mais resteront difficiles à prévoir et donc à anticiper. Il convient de les considérer comme un risque structurel à intégrer dans les pratiques, comme le souligne le rapport de l'expertise scientifique collective « Sécheresse et Agriculture » paru en 2006 (4). La prévention reste le meilleur moyen d'affronter un aléa et c'est dans ce sens que se développent les recherches de l'Inra, en partenariat avec le développement agricole.



© Inra / Sylvie Toillon

PRAIRIE NATURELLE de montagne d'Auvergne.

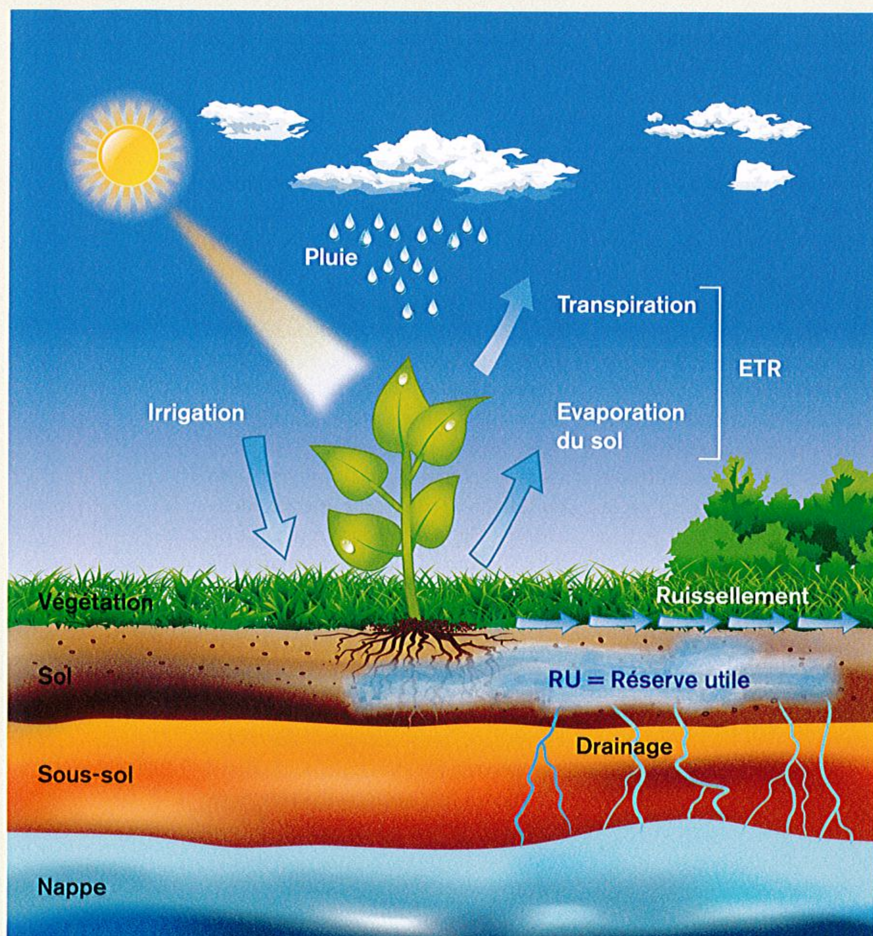
(1) Directeur de l'Unité de recherche sur l'écosystème prairial, à l'Inra de Clermont-Ferrand.
(2) www.prairies.aop.net
(3) Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
(4) Expertise réalisée par l'Inra à la demande du ministère de l'Agriculture et de la Pêche. www.inra.fr/l_institut/expertise/expertises_realisees/secheresse_et_agriculture_rapport_d_expertise).

DOSSIER

Comment quantifier la gravité d'une sécheresse et ses conséquences sur l'agriculture ? Les apports de la recherche

La question centrale pour l'agriculture est d'anticiper les conséquences des sécheresses sur le rendement des cultures. Question complexe, mais de fort enjeu économique, pour laquelle la recherche déploie un éventail de méthodes complémentaires.

A LA BASE, LE SUIVI DU BILAN HYDRIQUE DES CULTURES



Cycle de l'eau au niveau de la plante

La quantité d'eau disponible pour la plante à un instant donné **R** est égale à RU + (pluies + irrigation-ruissellement-drainage) – ETR.

RU : réserve utile qui dépend, pour une culture donnée, de la hauteur du sol et de la profondeur des racines.

ETR : évapotranspiration : somme de l'évaporation du sol et de la consommation d'eau par la plante, qui rejette dans l'atmosphère, par les pores de ses feuilles (i.e. les stomates), la quasi-totalité de l'eau qu'elle absorbe.

Du point de vue agricole, la gravité d'une sécheresse se définit par le déficit des réserves en eau des sols superficiels. Une des manières de l'exprimer est le rapport R/RU, soit, pour prendre une image, le niveau du réservoir à un instant donné rapporté à la contenance du réservoir. On estime que la plante couvre ses besoins en eau de façon optimale s'il reste dans le sol au moins la moitié du réservoir (R>RU/2). En deçà, la plante ferme ses stomates* et son évapotranspiration (ETR) n'est pas optimale. L'ETR ne peut être mesurée exactement qu'à l'aide d'appareils utilisés en recherche. Sur le terrain, l'agriculteur peut l'estimer à partir des données météorologiques, des caractéristiques du sol et de celles du cycle de végétation de chaque culture. Certains logiciels, comme IRRINOV®**, permettent aux agriculteurs de calculer la quantité d'eau à apporter par irrigation pour que l'ETR soit optimale.

* Pores, situés sur la membrane des cellules foliaires, qui régulent les échanges d'eau et de gaz (CO_2, O_2).

** IRRINOV® est une méthode de conduite de l'irrigation, mise au point par ARVALIS-Institut du végétal et un réseau de partenaires nationaux et régionaux.

L'INFLUENCE DU CLIMAT : LA VEILLE AGROCLIMATIQUE

L'état hydrique du sol (R/RU) est l'un des douze paramètres de sortie du dispositif VAC (Veille AgroClimatique) développé par l'Inra à la suite de la canicule de 2003 pour analyser l'influence du climat sur la production agricole. Ce dispositif calcule les caractéristiques de la production (rendement, qualité, durée du cycle, indices de stress hydrique, de stress azoté, etc.) en fonction des données météorologiques (températures minimales et maximales, pluies, rayonnement, humidité, vent) réellement enregistrées sur dix sites expérimentaux de l'Inra couvrant la diversité climatique de la France. Il repose sur un modèle de développement des plantes (STICS) et fonctionne pour sept types de culture (dont blé, colza, maïs, tournesol). Il considère un système théorique simplifié dans lequel seul le climat varie, avec deux composantes fixées arbitrairement et communes à tous les sites : un sol médian et un itinéraire technique unique, mais représentatif. Il ne permet donc pas de calculer un rendement réel, mais un rendement « climatique » qui ne prend en compte que l'influence du climat.



CHAMP DE COLZA.

LA PRÉVISION DES RENDEMENTS : LE SYSTÈME MARS



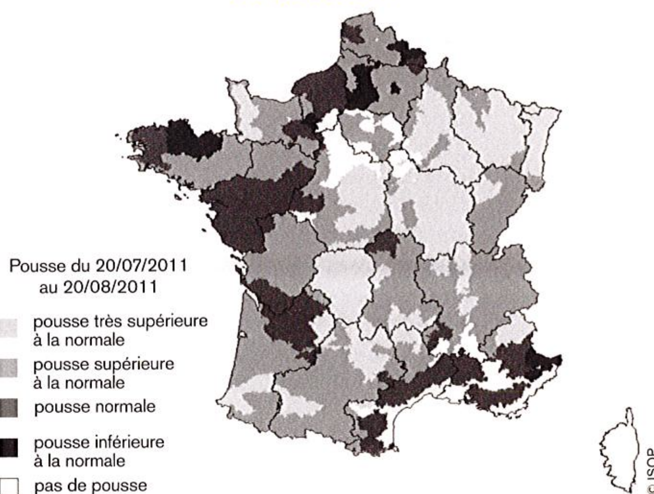
PARCELLE DE POMMES DE TERRE en Picardie.

A l'échelle européenne, un autre outil complémentaire* donne une anticipation des rendements réels, mais à un grain géographique moins fin. Cet outil, appelé MARS (Monitoring Agricultural ResourceS) calcule les variables météorologiques (cumul des températures, cumul des pluies, etc.) sur des zones de 25x25 km et fait des estimations mois par mois sur le rendement à venir de différentes cultures (blé d'hiver, orge, maïs, pomme de terre, etc.), en utilisant des itinéraires techniques identifiés pour chaque zone et une cartographie du sol. Il a anticipé par exemple une baisse de production de blé tendre en France de -11,5% pour 2011 par rapport à 2010. Résultat corroboré par le service de la statistique et de la prospective du ministère de l'Agriculture (-10%).

* Développé par le Centre de recherche de la Commission européenne basé à Ispra en Italie.

PRAIRIES : LE SYSTÈME ISOP

Le modèle STICS a fait l'objet de développements spécifiques pour estimer le rendement des prairies, qui, contrairement aux grandes cultures, sont en partie consommées par les animaux. Ce système, appelé ISOP (Information et Suivi Objectif des Prairies), fruit d'une collaboration entre Météo-France, l'Inra et le ministère en charge de l'agriculture (service de la statistique et de la prospective) permet à ce dernier d'obtenir une image objective des dommages. Il calcule la quantité de matière sèche par hectare, jour après jour, à l'échelle de petites régions fourragères considérées comme homogènes pour les sols et les pratiques.





© Inra / Jean Weber

2 Les leviers à court terme

Face à des sécheresses ponctuelles, les agriculteurs disposent d'une panoplie de réactions à court terme dont la mise en œuvre dépend de leur appréciation, voire de leur anticipation de la situation. Cependant, la fréquence accrue des sécheresses les amène à envisager des changements plus profonds de leurs systèmes de culture et d'élevage, vers une plus grande diversification et une plus grande souplesse pour s'adapter aux aléas du climat.



Il ne s'agit plus de savoir si l'agriculture va devoir s'adapter à des conditions climatiques différentes de celles que nous connaissons, mais bien comment elle va pouvoir le faire ». Telle était en 2006 l'une des conclusions de l'expertise collective « Sécheresse et Agriculture » menée par l'Inra à la demande des ministères de l'Agriculture et de l'Environnement à la suite des épisodes de sécheresse successifs de 2003, 2004 et 2005. Cette expertise, qui a mobilisé plus de trente experts, a fait le point sur les connaissances les plus récentes sur la sécheresse et sur les moyens de réduire la vulnérabilité de l'agriculture face au manque d'eau. Il apparaît qu'au niveau individuel, les agriculteurs disposent de deux grands types de leviers : à court terme, intra-annuel, pour pallier une sécheresse ponctuelle, et à long terme, pour concevoir des systèmes de culture intrinsèquement plus résistants. Ces derniers font largement appel à la recherche (voir en partie 3).

Le gain de l'anticipation

Pour ce qui est des leviers à court terme, leur efficacité dépend fortement de la possibilité d'anticiper la sécheresse le plus tôt possible dans l'année. Une étude de l'Inra l'a montré pour le levier irrigation, dans le cas d' un agriculteur « représentatif » du Sud-Ouest, qui répartit sa surface cultivée entre trois systèmes : monoculture de maïs, rotation blé dur/sorgho, rotation blé dur/tournesol. Les pertes de profit de l'agriculteur peuvent atteindre 54% s'il ne peut pas anticiper les interdictions d'irrigation en période d'étiage (lorsque le niveau des rivières est au plus bas) lors des années sèches. Alors que si l'information est connue avant mi-juillet, il peut ré-optimiser ses tactiques d'irrigation et la perte peut rester inférieure à 15%. La même étude montre que les décisions de plus long terme de l'agriculteur (réallocation de ses surfaces entre les trois systèmes) atténuent considérablement la perte résultant des interdictions d'irrigation, qu'elle soit ou non anticipée (-1,8%). Mais l'anticipation n'est pas toujours possible. Cette année, la situation de sécheresse n'a été vraiment constatée qu'au mois de mai, comme en témoigne Frédéric Levrault, de la chambre d'agriculture de Poitou-Charentes, une région particulièrement touchée (1). Selon cet observateur privilégié, « *même si la recharge des aquifères avait diminué en mars, on espérait des pluies en avril. Le vrai constat n'est venu qu'en avril-mai* ». Même témoignage côté élevage, de la part de Pascale Pelletier, ingénieur régional Fourrages à ARVALIS-Institut du Végétal dans la région voisine (2) : « *A Pâques, la pousse d'herbe était correcte, le déficit hydrique n'a été évident que fin avril-début mai. Ce qui a surpris ensuite, c'est l'ampleur de la sécheresse, ajoutée aux fortes températures : fin avril, il y avait trois semaines d'avance en degrés cumulés* ».

Elevage : aliments diversifiés et stocks

Du côté de l'élevage, « *les éleveurs complémentent depuis la fin mai, il y a un énorme manque de fourrage*, poursuit Pascale Pelletier. *En Indre et dans le Cher, les pailles (orge, blé) ont été réquisitionnées pour compléter la nourriture des animaux, il est interdit de les broyer pour les restituer au sol* ». Autre solution : l'implantation de cultures dérobées sur les terres libérées précocement par les cultures d'hiver, récoltées avec deux à trois semaines d'avance. Les

espèces semées sont des graminées fourragères à croissance rapide (ray-grass d'Italie, millet perlé...). Ces cultures ont bénéficié, par chance, des pluies de juin et juillet. Troisième solution, l'ensilage de céréales immatures dès fin mai.
A un degré d'anticipation supérieur, l'utilisation d'espèces fourragères moins sensibles à la sécheresse comme la luzerne peut limiter les dommages. De même que la constitution de stocks d'herbe. L'Inra de Toulouse (3) a développé un logiciel, Herb'âge, qui permet d'optimiser la récolte d'herbe dans les prairies permanentes en calculant le stade de maturité de la végétation en fonction de la somme des températures écoulées depuis la dernière coupe. Certaines chambres d'agriculture utilisent cet outil pour donner des conseils sur la date de fauche *via* les bulletins des réseaux d'avertissements « Gestion de l'herbe ». Par exemple, ce bulletin du 23 mai 2011, diffusé par la chambre d'agriculture de la Creuse qui indique que « *le cumul des 1 000°C étant dépassé, toutes les graminées sont au stade épiaison et qu'il faut faucher sans attendre* ». L'équipe de l'Inra de Toulouse développe parallèlement des modèles de recherche plus complexes visant à concevoir les systèmes les moins risqués par rapport à la variabilité du climat et à son évolution à long terme.



LES PÂTURAGES sont des milieux très diversifiés où la consommation d'herbe dépend toujours des mêmes facteurs : conduite de l'éleveur, type de prairie, caractéristiques des animaux et aliments complémentaires (fourrages, concentrés, minéraux...).

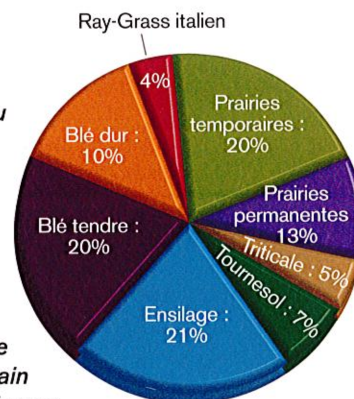
L'expertise collective souligne la fragilité des systèmes d'élevage, l'éleveur devant assurer chaque année une ration relativement incompressible pour nourrir ses animaux alors que la quantité de fourrages peut varier de

Deux exemples de systèmes d'élevage autosuffisants en fourrages

• Du maïs à la combinaison céréales/prairie

Thierry Morineau* possède 63 vaches laitières et 50 génisses et 102 ha dans les Deux-Sèvres (charge : 1,2 UGB/ha) en système élevage/polyculture.

*« Alors que la plupart de mes voisins nourrissent leurs animaux avec du maïs irrigué, j'ai peu à peu remplacé mes surfaces en maïs par des prairies, explique Thierry Morineau. Car, pendant plusieurs années de sécheresse consécutives, le maïs a peu donné et je ne voulais pas investir dans un système d'irrigation. J'ai commencé en 2002 avec 5 ha de prairies (trèfle blanc et ray-grass-anglais). J'y ai ajouté 28 ha après la canicule de 2003 pour augmenter le temps de pâturage. Maintenant, dès la fin mars, les vaches sont dehors toute la journée, et jour et nuit à partir de mi-avril. Elles tournent quatre à six jours par parcelle : quand l'herbe est descendue jusqu'au talon de ma botte, je les change de parcelle pour ne pas épuiser la végétation. Cette année, les vaches ont consommé au printemps le maïs ensilé et le silo d'herbe mis en réserve l'année d'avant, que j'ai complété avec du triticale ensilé en grain immature. Mais elles ont pu aussi pâturer pendant la journée sur la luzerne qui est « repartie » en juin et sur le festulolium**, en attendant les récoltes de sorgho et de maïs ».*



Le système diversifié de Thierry Morineau

* Thierry Morineau a participé à la « première journée technique régionale prairies et variétés fourragères », co-organisée par l'Inra et les chambres d'agriculture du Poitou-Charentes, le 14 juin à Lusignan en plein contexte de sécheresse.

** Le festulolium est issu d'un croisement entre le ray-grass et la fétuque. Des travaux conduits à l'Inra de Lusignan dans les années 80 ont montré que l'utilisation d'une espèce ancestrale de fétuque dans les croisements apporte des qualités de digestibilité et de pérennité particulièrement intéressantes.

• Le paquet sur les stocks

Un système herbager biologique est en place à la ferme expérimentale Inra de Redon, vers Clermont-Ferrand, 800 m d'altitude, avec 120 brebis allaitantes sur 24 ha dont 10 de prairies temporaires (charge : 0,85 UGB/ha).

« En système biologique, nous sommes obligés de tendre vers une autosuffisance pour l'alimentation, indique Marc Benoit car les aliments concentrés coûtent très cher. Notre système a été conçu en 2000 par modélisation** et nous l'avons adapté en 2005. Les principaux leviers pour atteindre une autonomie élevée sont la diversité des prairies, le recours maximum au pâturage, la culture de mélanges céréales/protéagineux, et l'étalement des mises bas : celles-ci se font sur deux, voire quatre périodes de l'année (février, avril, septembre, novembre), ce qui permet de répartir les besoins alimentaires sur l'année. Notre stock de fourrages peut couvrir de 50 à 70% des besoins annuels. L'objectif actuel est d'identifier le taux de chargement qui permet d'acquérir une autonomie alimentaire très élevée sur le long terme ».*

* Ingénieur dans l'Unité de Recherches sur les Herbivores, Inra de Clermont-Ferrand-Theix.

** Benoit *et al.* 2009. *Inra Prod. Anim.* 22 (3), 207-220.

plus de 50% autour de la moyenne en période de sécheresse. Chaque éleveur doit donc définir son niveau « d'auto-protection ». Pour les élevages à l'herbe, on estime qu'une demi-année de stock d'avance constitue une bonne sécurité. Des adaptations structurelles consistent à raisonner la charge des animaux, le choix des races, les dates des mises bas (voir encadré page VII).



LE DISPOSITIF PÉPISTA mesure le diamètre des branches au 100e de mm près. Une contraction supérieure aux fluctuations normales jour-nuit indique que la plante manque d'eau et risque de puiser dans ses réserves, entre autres les fruits, qui vont arrêter de se développer.

Cultures : irrigation et assolement

D'après l'expertise collective, les principaux leviers à court terme en grandes cultures pour réagir à une situation de sécheresse sont l'ajustement de l'irrigation et de l'assolement, sous condition d'une anticipation suffisante. Ainsi, en 2005 et 2006, des alertes ministérielles précoces dès les mois de février-mars avaient permis de privilégier des espèces plus résistantes à la sécheresse, avec une augmentation de la sole de sorgho et de tournesol, et une diminution de la sole de maïs.

Cependant, alors que la fréquence des sécheresses risque d'augmenter, les adaptations d'assolement observées jusqu'à présent semblent essentiellement conjoncturelles et non durables : même s'il diminue, le maïs grain représente en surface le double de l'ensemble : sorgho + tournesol + soja. En 2011, la sole de sorgho grain a diminué de 13% par rapport à 2010 (4). Cette situation s'explique du fait que d'autres paramètres entrent en ligne de compte dans le choix des agriculteurs et peuvent freiner les évolutions. Paramètres techniques : défaut de productivité (tournesol), problèmes de désherbage (sorgho) ou paramètres économiques : évolutions des prix et des aides de la PAC (oléagineux), structuration des filières (sorgho). La solution passe par la diversification, qui donne à l'agriculteur une souplesse pour assurer sa production. Il s'agirait de combiner des systèmes de cultures pluviales et irriguées à l'échelle d'un bassin versant en fonction des ressources disponibles (cours d'eau et nappes). Un prérequis serait l'établissement d'une base de données indiquant les systèmes de culture viables dans chaque contexte pédoclimatique. Un dispositif lourd à mettre en place, mais qui permettrait des négociations entre acteurs pour la ressource eau à l'échelle du territoire (voir partie 3).

Les arbres fruitiers protégés

Ces productions sont en général moins sensibles à la sécheresse que les cultures annuelles ou l'élevage, car les trois quarts des vergers sont irrigués en France. Il existe des appareils permettant de piloter l'irrigation très précisément selon les besoins de la plante. Un dispositif breveté dans les années 1980 par l'Inra d'Avignon, appelé Pépista, mesure les variations de diamètre des branches qui reflètent l'état d'hydratation des tissus : il y a contraction quand il y a perte d'eau (voir photo). Cet appareil est commercialisé par la société Agroressources, à Avignon, qui le loue à des producteurs pour une saison afin qu'ils « étalonnent » leurs vergers. C'est-à-dire qu'ils déterminent à quel état hydrique du sol (mesuré par un tensiomètre) correspond le début de stress hydrique chez l'arbre (mesuré par Pépista). Cela leur permettra par la suite de déclencher l'irrigation seulement en cas de besoin. On estime que ce dispositif permet des économies d'eau de 25 à 30%. Si les épisodes de sécheresse se multiplient, l'usage de ces méthodes fines de pilotage de l'irrigation pourrait se développer.

« Il nous faudrait des indicateurs des pratiques culturales »

Témoignage de Frédéric Levrault, chambre d'agriculture de Poitou-Charentes

« Quand il y a eu prise de conscience de la sécheresse, il était trop tard pour les cultures d'hiver, le blé tendre, le blé dur, l'orge, le triticale, les assolements étant déjà en place. En Poitou-Charentes, on estime que le rendement des céréales à paille a baissé en 2011 de 20 à 50% par rapport à la moyenne des dernières années. La seule adaptation possible était l'irrigation en fin de cycle - elle s'est pratiquée de fait à large échelle - mais ces prélèvements hypothéquaient les possibilités ultérieures d'irrigation des cultures de printemps. Même si le maïs a été semé plus tôt, les agriculteurs ont été amenés à demander par deux fois des dérogations pour pouvoir irriguer malgré les interdictions administratives. Finalement, la crise s'est estompée avec une centaine de mm d'eau tombée fin juillet. La sécheresse de cette année pose donc à nouveau la question des surfaces en maïs tenables en fonction des réserves d'eau disponibles ou éventuellement à construire. Le point de vue des agriculteurs irrigants a évolué au cours des dernières années car ceux-ci sont conscients de la situation : la sole de maïs a tendance à diminuer et il y a un avancement indéniable des dates des semis et un choix préférentiel de variétés plus précoces. Mais pour bien suivre ces évolutions, il nous faudrait des indicateurs géographiquement détaillés des pratiques culturales, des surfaces et des rendements pour chaque culture ».

(1) Départements des Deux-Sèvres, de la Vienne, de la Charente et de la Charente-Maritime.
(2) Départements de l'Indre, du Cher, de la Creuse et de la Haute-Vienne.
(3) UMR « Agrosystèmes, agricultures, gestion des ressources, innovations et ruralités », www.agir.toulouse.inra.fr/agir
(4) source : Agreste Conjoncture, septembre 2011.



Inra / UMR LEPSE

LA PLATEFORME PhenoArch de l'Inra de Montpellier permet l'analyse phénotypique automatisée de 1 650 plantes. (Ici du maïs).

3 Les leviers à long terme

A l'avenir, l'agriculture devra produire plus dans un contexte de ressource en eau limitée. Pour relever ce défi, les scientifiques de l'Inra explorent toutes les échelles d'analyse, de l'amélioration variétale à la gestion territoriale de l'eau en passant par la conception de systèmes de culture innovants. La modélisation joue un rôle central pour gérer la complexité des différentes approches et trouver une cohérence globale. Quelques exemples de recherches.

Le levier le plus directement contrôlable pour les agriculteurs est le choix des variétés. C'est pourquoi la conception de variétés tolérantes au manque d'eau fait l'objet de nombreuses recherches à l'Inra. Cependant l'adaptation à la sécheresse met en œuvre des caractères complexes et interdépendants impliquant chacun de nombreux gènes. « *Il n'y a pas de bon ou de mauvais caractères pour la tolérance*, explique François Tardieu, directeur de recherche au LEPSE (1) et coordinateur du projet européen DROPS (voir encadré), *tout dépend du scénario climatique et des caractéristiques du sol, le gène miracle n'existe pas* ». Par exemple, l'augmentation du développement racinaire ne sera favorable que s'il permet à la plante d'accéder à des ressources supplémentaires. Si ce n'est pas le cas, le coût en carbone de ces racines peut pénaliser le rendement. Autre illustration, lors d'un stress hydrique modéré, le maintien de la croissance foliaire favorise la photosynthèse et par conséquent le rendement. Dans des conditions plus sèches, ce caractère, qui induit aussi une évapotranspiration élevée (voir partie 1), peut provoquer un épuisement plus rapide de l'eau dans les sols voire la mort des plantes. Comme le souligne le chercheur « *On ne pourra jamais obtenir des plantes qui maintiennent leur productivité sans un niveau élevé de transpiration, il faut donc trouver un compromis entre protection et productivité* ». Ainsi, l'amélioration génétique doit prendre en compte la réponse globale des plantes face au manque d'eau, et ce, pour chaque contexte pédoclimatique (dates, intensité et fréquence des sécheresses, sol plus ou moins profond...).

Génotypes virtuels, intérêt bien réel

Dans cette optique, les scientifiques du LEPSE ont développé une méthode qui permet de simuler le comportement de divers génotypes pour un grand nombre de scénarios climatiques. Elle a d'abord été appliquée à la croissance des feuilles ou des organes reproducteurs chez le maïs (voir dossier Biotechnologies vertes dans l'Inra Mag n°15). Les génotypes (l'ensemble des gènes) sont corrélés statistiquement aux phénotypes (expression des caractères) par l'observation d'un grand nombre de plantes, ce qui permet de révéler quelles régions du génome sont impliquées dans un caractère donné. Ces expérimentations, menées en conditions contrôlées, autorisent aussi l'analyse des effets des différentes versions des gènes (les allèles) sur le caractère correspondant en réponse à l'environnement. Grâce à la modélisation, il devient alors possible de déterminer quelles combinaisons d'allèles seraient les plus intéressantes dans une région donnée pour des scénarios climatiques actuels ou anticipés. Les chercheurs testent non seulement les combinaisons alléliques des génotypes existants, mais ils peuvent imaginer et tester des génotypes virtuels. Ces derniers serviront ensuite de guide pour les sélectionneurs.

Drops : vers des variétés tolérantes « sur mesure »

Dans le cadre du projet Européen Drops*, l'Inra et ses quinze partenaires publics et privés vont tester en vraie grandeur la démarche employée au LEPSE. Trois espèces bénéficiant à la fois d'un fort intérêt économique et d'une solide base de connaissance au niveau génétique sont concernées : le maïs, le blé tendre, le blé dur. En plus de la croissance des feuilles et des organes reproducteurs, le projet s'intéressera à d'autres mécanismes d'adaptation comme le taux d'avortement des grains, l'architecture du système racinaire et l'efficience d'utilisation de l'eau (rapport transpiration/biomasse produite). Le projet a pour objectif d'améliorer les capacités de phénotypage pour chacun de ces caractères mais aussi d'identifier les régions du génome qui les déterminent et les marqueurs génétiques permettant de connaître la composition allélique de chaque génotype. *In fine*, ces données seront intégrées dans des modèles de fonctionnement des cultures qui simuleront la réponse globale des plantes en fonction de leurs caractéristiques génétiques et du scenario climatique. Ces outils et méthodes permettront aux sélectionneurs de créer des variétés qui seront plus tolérantes au stress hydrique et/ou plus efficientes dans l'utilisation de l'eau tout en étant adaptées aux diverses conditions pédoclimatiques européennes de demain… ou d'après-demain.

* Drought tolerant yielding plant. www.drops-project.eu

Systèmes de culture : mieux vaut prévenir que guérir

Au-delà de la tolérance intrinsèque des plantes, c'est l'ensemble du système de culture qui doit être adapté à une disponibilité en eau incertaine. Devant cet aléa, l'objectif est d'optimiser la rentabilité sur plusieurs années, plutôt que de viser la performance annuelle. L'enjeu est de taille pour la recherche qui doit trouver des stratégies cohérentes en jouant simultanément sur de multiples leviers interdépendants : assolements, variétés et conduites culturales. Stratégies qui doivent par ailleurs prendre en compte d'autres contraintes, telles que la réduction de l'utilisation des pesticides.

Tout d'abord, les assolements peuvent être raisonnés en introduisant des espèces plus tolérantes, moins gourmandes en eau ou dont les besoins interviennent en dehors de l'été. C'est ainsi qu'une étude menée en 2006 par Arvalis-Institut du végétal en Poitou-Charentes a analysé les meilleurs assolements à mettre en place dans le cas d'une réduction de 15 à 30 % des quotas d'irrigation. Il apparaît que la substitution du maïs par le sorgho, le tournesol ou les céréales à paille n'est intéressante que pour les exploitations ayant un faible quota initial. Avec un quota plus élevé, c'est le maïs, conduit en rationnant l'eau, qui reste avantageux. Si les restrictions sont plus fré-



© Inra / Léon-Louis Damour

DES RESTRICTIONS D'EAU plus sévères à l'avenir pourraient rendre intéressante la substitution du maïs par d'autres cultures comme le sorgho ou le tournesol.

quentes, la part des cultures irriguées au printemps doit augmenter. Cette étude a utilisé un logiciel développé par l'Inra et Arvalis-Institut du végétal. Baptisé LORA, il se base sur le taux de satisfaction des besoins en eau des plantes pour calculer la marge économique de l'exploitation en fonction des possibilités d'irrigation et de la main-d'œuvre. A l'avenir les chercheurs espèrent préciser la relation eau-rendement du logiciel et étendre ses possibilités à la sole non irriguée.

Règles de bonne conduite… des cultures

Le raisonnement conjoint du choix variétal et de la conduite de culture en fonction de la disponibilité en eau est également une voie prometteuse d'amélioration. On peut en effet envisager deux stratégies d'adaptation qui font appel à des variétés aux caractéristiques différentes combinées à des conduites adaptées. La première, l'esquive, consiste à décaler les stades les plus sensibles du développement de la plante (souvent la floraison) en dehors des périodes de stress hydrique les plus probables. On utilise alors des variétés à cycle court et/ou aptes à être semées plus tôt. Cette stratégie a néanmoins un coût : en réduisant la durée du cycle, on pénalise le rayonnement intercepté, donc le rendement accessible les bonnes années. Autre stratégie : le rationnement. Il s'agit de réduire soit la transpiration des plantes soit l'évaporation du sol pendant la première partie du cycle afin de conserver de l'eau pour la phase de remplissage des grains. Deux types de variétés et de conduites permettent d'atteindre cet objectif. Une variété à fermeture rapide des stomates ou à indice foliaire modéré peut être conduite avec une faible densité de peuplement et une fertilisation azotée réduite pour limiter la transpiration. A l'opposé, on peut rechercher à « couvrir » rapidement le sol pour en limiter l'évaporation. Une variété précoce conduite avec une plus forte densité de semis et une fertilisation suffisante sera alors plus adéquate.

Pour jongler avec tous ces paramètres afin de raisonner stratégie et variété en fonction des scénarios de sécheresse, les chercheurs ont mis au point des modèles dynamiques qui « miment » le fonctionnement des plantes en fonction de leurs caractéristiques et de leur environnement (climat, sol, conduite). Ainsi, le modèle SUNFLO, développé pour le tournesol par les chercheurs de l'UMR AGIR, permet de combiner plusieurs caractères phénologiques (durée de la phase post-floraison), morphologiques (surface foliaire) et physiologiques (vitesse de fermeture stomatique…) afin de les tester sur le long terme dans des conditions pédoclimatiques variées. Le modèle prend en compte les caractéristiques de chaque variété à partir de données de phénotypage mesurées au champ et en serre. Les scientifiques ont ainsi mis en lumière l'importance d'une fermeture précoce des stomates dans des milieux où la contrainte hydrique est précoce et prolongée. A l'inverse, en milieu plus favorable, il conviendra de favoriser l'interception du rayonnement et donc la photosynthèse. Outre la définition d'un mode d'emploi pour les variétés, cet outil devrait permettre d'améliorer les performances du système d'évaluation variétale. Des expérimentations virtuelles venant compléter les traditionnels essais multilocaux et pluri-annuels permettront d'élargir les situations pédoclimatiques étudiées. Pour plus de précision, les chercheurs travaillent actuellement à intégrer les liens entre pratiques culturales et développement d'une maladie du tournesol, le phoma, responsable de pertes de rendement aggravées en conditions sèches.



LES CHERCHEURS MODÉLISENT les caractéristiques des variétés de tournesol pour déterminer les meilleures stratégies de culture face à divers scénarios de sécheresse.

La gestion spatiale de l'eau, nouveau territoire de recherche

La raréfaction de la ressource en eau, tout comme la dégradation de sa qualité, fait apparaître des problèmes qui vont bien au-delà des échelles de la plante, de la parcelle ou de l'exploitation. Il s'agit des conflits d'usages à l'échelle des territoires. En tant que consommateur de la ressource, l'agriculture se retrouve en concurrence avec les usages domestiques (eau potable) et industriels mais aussi environnementaux. L'Inra s'attache depuis plusieurs années à prendre en compte cette nouvelle échelle d'analyse qui sert de support à de nombreuses politiques publiques (aménagement du territoire, développement écono-

mique, protection de l'environnement...). En effet, pour l'eau comme pour la forêt ou la biodiversité, la gestion des ressources naturelles sur le long terme ne peut se dissocier de celle du territoire. La gestion de l'eau est ainsi passée peu à peu d'une logique de gestion des flux pour chaque usage à une gestion spatiale et intégrée. La directive cadre sur l'eau (2) témoigne d'ailleurs de cette tendance en imposant des préconisations à l'échelle du bassin versant telles que la lutte contre l'imperméabilisation des sols ou la préservation des champs d'expansion de crue. Pour les gestionnaires de l'eau, répondre à ces exigences revient donc à influencer les divers modes d'occupation des sols au travers de politiques publiques (création de barrages, tarification, mesure incitative ou réglementaire). Dans une perspective de développement durable du territoire, les évolutions envisagées doivent tenir compte de critères économiques, sociaux et environnementaux.
Afin d'assister les gestionnaires de l'eau dans leur choix, des chercheurs des UMR AGIR et LERNA du centre Inra de Toulouse ont développé un modèle multicritère et multi-usage. Ce dernier simule la demande en eau et les profits liés à chaque usage. L'activité agricole y est plus particulièrement détaillée grâce à un modèle mécaniste qui prend en compte la croissance des cultures et leur besoin d'irrigation. En parallèle, un modèle hydraulique permet de quantifier l'offre en eau en tout point du réseau hydrographique. Le modèle générique ainsi obtenu a été appliqué à un bassin versant du Sud-Ouest, le système Neste, dans lequel l'irrigation des cultures pose un problème de pénurie d'eau en période d'étiage. Il permet par exemple de tester quelles pourraient être les allocations optimales en fonction de l'évolution de paramètres climatiques, économiques, agronomiques ou réglementaires. Puis de tester les politiques publiques adaptées pour se rapprocher de cet objectif. Ce modèle a été déjà utilisé pour explorer des systèmes de tarification innovants pour l'eau d'irrigation.



BARRAGE DE GABAS dans les Pyrénées. Doit-on modifier les systèmes de cultures ou augmenter la ressource en eau ? L'Inra apporte des outils pour éclairer le débat.

Créer les conditions du dialogue

Toujours pour le système Neste, les chercheurs de l'UMR AGIR ont développé un outil original destiné aux différents acteurs ou porteurs d'enjeux. Il leur permet de construire et d'évaluer des scénarios de distribution des systèmes de culture sur le territoire. En effet, la planification de la gestion de l'eau fait souvent appel à des instances de concertation ou des débats publics dans lesquels divers acteurs proposent leur vision de l'aménagement du territoire, y compris des systèmes de culture. Pour que ces points de vue soient mieux pris en compte par des gestionnaires comme les agences de l'eau, il est important de les préciser et d'évaluer leurs conséquences. « *Cette nécessité est apparue lors du débat public sur la construction du barrage de Charlas*, raconte Delphine Leenhardt, chercheuse à l'UMR AGIR, *un collectif d'opposants au projet proposait une nette diminution des surfaces irriguées de maïs, mais sans préciser à quels endroits les remplacer et par quelles cultures. Ce qui peut affaiblir la pertinence de la proposition* ». Le modèle décrit très finement la répartition actuelle des systèmes de culture mais aussi le déterminisme de leur localisation (nature et pente des sols, taille de l'exploitation, orientation technique, climat...). Un des défis de la méthode résidait dans la conversion de discours qualitatifs en éléments d'entrée du modèle. Une interface originale a été conçue pour aider à préciser puis quantifier ce type de propositions et prendre ainsi plus de types d'acteurs en compte. Basées sur un modèle bio-décisionnel, les simulations permettent ensuite de délivrer des indicateurs tels que la demande en eau d'irrigation ou le rendement économique des cultures.

(1) Laboratoire d'écophysiologie des plantes sous stress environnementaux, Inra de Montpellier.
(2) Directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.

Dossier rédigé par **Géraud Chabriat** et **Pascale Mollier**
Responsables scientifiques : **Christian Huyghe** et **Jean-François Soussana**

+d'infos

web :
Le dossier Web :
www.inra.fr/la_science_et_vous/secheresse_et_agriculture
Le dossier du Ciag « Productions végétales et sécheresse » :
www.inra.fr/ciag/revue/volume_2_juin_2008

Bientôt des vignes résistantes au mildiou et à l'oïdium


© Inra : Nathalie Mansion

Depuis fin août, les vendanges battent leur plein au domaine expérimental Inra de Montreuil-Bellay, près d'Angers. Les chercheurs récoltent le fruit de leur travail : des vignes durablement résistantes au mildiou et à l'oïdium. Encore quelques années d'essais chez les professionnels et ces obtentions seront présentées à l'inscription au catalogue des variétés en vue de leur commercialisation.


© Inra : Nathalie Mansion

Gérard Barbeau, directeur de l'Unité expérimentale Vigne et Vin du centre Inra Angers-Nantes, nous fait visiter les essais menés à Montreuil-Bellay

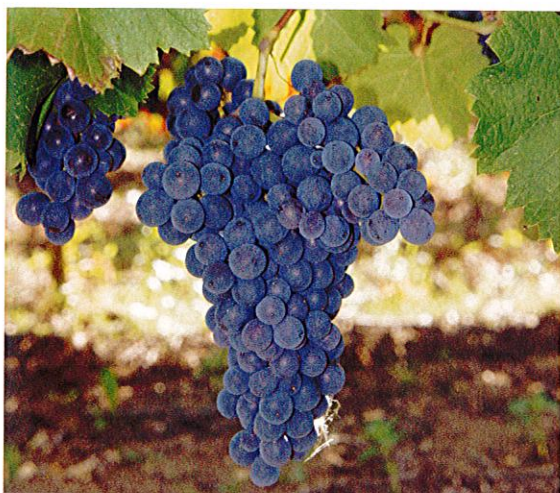
« *Nous étudions environ 450 croisements résultant d'hybridations entre des géniteurs portant chacun un type de résistance différent, issu des vignes américaine et asiatique et d'une espèce cousine de la vigne : la muscadine* ». L'association de trois sources de résistance portées par des gènes différents la rend plus difficile à contourner par les maladies et constitue donc un gage de durabilité. Le programme de création de vignes de cuve résistantes et de qualité est mené et coordonné par Christophe Schneider de l'Inra de Colmar, où sont réalisés les croisements et le tri précoce, basé sur la sélection assistée par marqueurs et des tests biologiques en conditions contrôlées. Ce programme a démarré en 2000, à partir des travaux conduits sur les résistances de la muscadine par Alain Bouquet de l'Inra de Montpellier.

Six candidats à l'issue de la première vague de tests

Les obtentions retenues en tri précoce accèdent à l'étape de sélection intermédiaire, qui est basée sur un réseau d'essais Inra implanté dans plusieurs régions (1). Ce qui permet d'avoir une bonne vision du comportement des obtentions dans les différentes zones climatiques françaises, en comparaison de deux variétés témoins : le Chardonnay, très sensible à l'oïdium, et le Merlot, sensible au mildiou et à l'oïdium. « *Nous évaluons la résistance chaque année à trois stades*, précise Gérard Barbeau, *la floraison, la fermeture de la grappe (quand les baies de raisin ont suffisamment grandi pour se toucher) et la véraison (quand les baies changent de couleur et de texture, passant de « dur » à « souple »). Outre la résistance au mildiou et à l'oïdium, nous surveillons aussi le déroulement du cycle de la vigne et analysons le rendement et la qualité des baies. Parmi les 450 croisements, 110 ont été plantés en 2004 et 2005 : nous avons ainsi un recul de plusieurs années sur leur comportement. Les autres, plantés plus récemment, en 2008 et 2009, sont en cours d'évaluation* ».


© Inra : Gérard Barbeau

PRÉPARATION DES VENDANGES en vue de la microvinification individuelle des croisements.


© Inra : Nathalie Mansion

UN DES CROISEMENTS RÉSISTANTS au mildiou et à l'oïdium.

Depuis 2008, les obtentions les plus prometteuses sont vinifiées en blancs, rosés ou rouges et évaluées par un jury d'analyse sensorielle.
Ces essais ont abouti à choisir six candidats de façon concertée entre les quatre lieux d'expérimentations.

Evaluation en vraie grandeur

En 2011, ces six candidats ont été plantés en parcelles d'études chez les partenaires du développement dans plusieurs régions pour une évaluation en vraie grandeur, respectant le cahier des charges de l'examen VATE (Valeur Agronomique, Technologique et Environnementale) du CTPS (2). Ils devraient donner lieu à des propositions d'inscription au Catalogue officiel à l'horizon 2016. « *A Montreuil-Bellay, les plantations de ce type démarreront en 2012 et seront réalisées ici, à la station expérimentale, sur la partie labellisée Plateforme régionale d'innovation (3)* », conclut Gérard Barbeau.
Le programme pourrait également apporter des réponses à la filière viticole dans le cadre de l'évolution du contexte climatique et socio-économique : gamme de maturité plus étendue, teneur en alcool plus faible. Il est prévu pour durer au moins jusqu'en 2020. ●

Gérard Barbeau et Sylvia Marion

Le mildiou et l'oïdium, deux fléaux « durs à cuire »

Le mildiou et l'oïdium sont deux champignons parasites originaires d'Amérique du Nord. Introduits en France à partir de 1845, ils ont failli anéantir les vignobles en raison de la sensibilité des vignes d'origine européenne. Les viticulteurs mènent une bataille essentiellement chimique contre ces maladies qui, aujourd'hui encore, dévastent le vignoble. Mais le recours aux traitements fongicides a été pointé au Grenelle de l'Environnement qui en préconise la réduction significative*. La façon la plus efficace de diminuer l'utilisation des fongicides sur la vigne est de créer de nouvelles variétés résistantes aux deux parasites, ce que l'Inra est en train de réaliser.


© Inra : Gérard Barbeau

Oïdium sur Chardonnay
- **sur les feuilles :** feutre blanc poudreux
- **sur les tiges :** taches étoilées qui prennent une coloration brune à noire
- **sur les baies :** coloration gris cendré, apparition de spores qui leur donnent une apparence farineuse


© Inra : Gérard Barbeau

Mildiou sur Merlot
- **sur les feuilles :** décolorations jaunâtres et duvet blanc sur la face inférieure
- **sur les tiges :** duvet blanc
- **sur les baies :** les baies deviennent bleues puis brunes, se dessèchent et durcissent

* Actuellement, la vigne est l'une des cultures sur laquelle on utilise le plus de pesticides : 14% des dépenses phytosanitaires de l'agriculture chaque année, pour environ 3% de la surface agricole utile (chiffres 2009, Ecophyto R&D).

(1) Réseau RESDUR, qui regroupe le dispositif de Montreuil-Bellay et celui de trois autres sites expérimentaux de l'Inra : Bordeaux, Colmar et Pech Rouge, vers Narbonne.
(2) Comité technique permanent de la sélection.
(3) Les Plateformes régionales d'innovation sont des actions de politique régionale visant à rapprocher recherche, enseignement et développement.

+d'infos
contacts : gerard.barbeau@angers.inra.fr
C.Schneider@colmar.inra.fr

Futurol, le carburant de demain se recherche aujourd'hui



Après une année de travaux, le pilote de production d'éthanol de deuxième génération a ouvert ses portes à la recherche en septembre dans le cadre du projet Futurol. Il sera inauguré le 11 octobre prochain. Reportage photo sur le site de Pomacle-Bazancourt, près de Reims, commenté par Jean Tayeb, responsable du projet Futurol à l'Inra.

Le pilote est la première étape du projet Futurol qui vise la production industrielle d'éthanol de deuxième génération. Il sera suivi par la construction en 2015 d'un prototype (échelle x 20) avant la phase d'industrialisation (échelle x 1 000), le tout en huit ans. A terme, on estime qu'une unité de taille standard pourra produire 180 millions de litres d'éthanol/an. L'objectif est de développer un procédé commercial de production d'éthanol pour le marché mondial. Cela positionne la barre assez haut en termes de performances économiques et environnementales, nécessaires pour conquérir un avantage concurrentiel. Le projet comporte d'ailleurs plusieurs thèses consacrées uniquement aux performances environnementales du système.

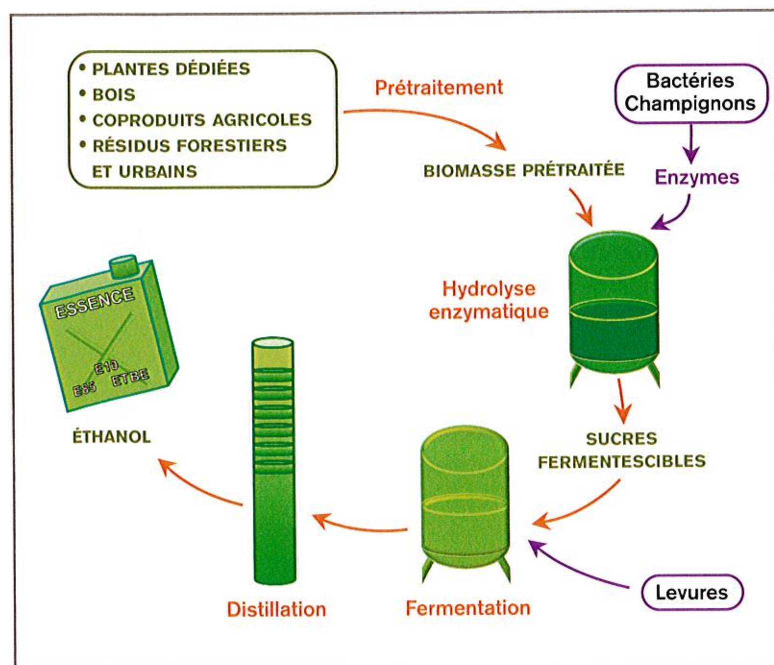
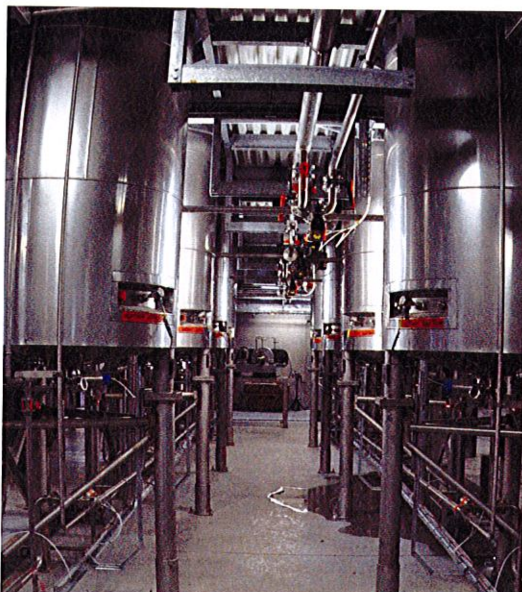


Schéma de principe de la production de biocarburants de deuxième génération

Les biocarburants dits de « deuxième génération » valorisent les parties non alimentaires des plantes, alors que les biocarburants de première génération sont produits à partir des réserves des végétaux (sucre de canne, grains de blé ou de maïs etc.). Le projet Futurol permet d'obtenir de l'éthanol à partir d'une grande diversité de matières premières : plantes dédiées (miscanthus, switchgrass, sorgho fibre), bois, coproduits agricoles (pailles, pulpe de betterave), résidus forestiers et déchets verts.

Ces matières premières sont transformées par voie biologique en utilisant des bactéries, des champignons et des levures. L'Inra possède dans ce domaine un savoir-faire important. Cependant, pour passer de l'échelle de « la paillasse » à l'échelle industrielle et produire du biocarburant au meilleur coût, nous avons identifié avec nos partenaires pas moins de 65 actions de recherche, dont une trentaine de thèses. Onze unités de recherche Inra sont impliquées dans le projet.


© Procethol 2G

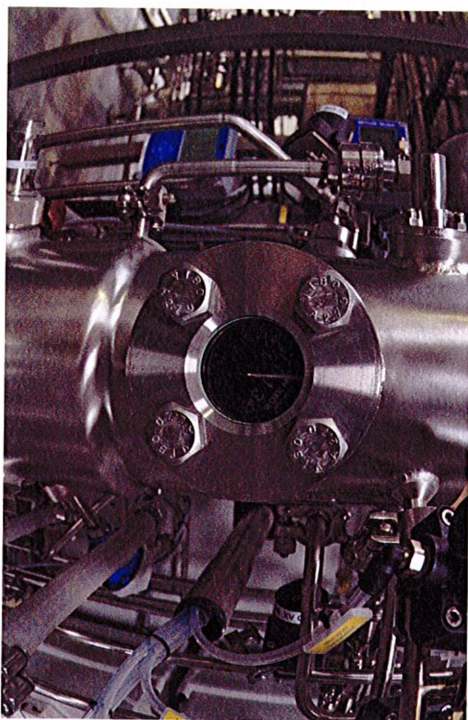
Cuves d'hydrolyse et cuves de fermentation

La cellulose et les hémicelluloses, deux des trois principaux polymères constitutifs de la matière végétale, sont transformées en sucres par des enzymes bactériennes et fongiques, sucres qui seront ensuite convertis en éthanol par les levures. Le troisième composant, la lignine, sera utilisé avant tout pour satisfaire aux besoins en énergie du procédé de conversion et/ou être valorisé sur les marchés de la chimie et des matériaux.
L'éthanol présente l'avantage d'être utilisable dès aujourd'hui dans nos moteurs puisque directement miscible à l'essence. De plus, les plantes utilisées comme matières premières captent une partie du gaz carbonique produit par les véhicules, ce qui optimise le bilan carbone du système par rapport aux carburants issus du pétrole.

Colonne de distillation

Le « vin » produit lors de la fermentation par les levures, est ensuite distillé dans ces colonnes, puis rectifié pour fournir de l'éthanol.


© Procethol 2G


© Procethol 2G

Réacteur de production d'enzymes

Le pilote Futurol comprend une chaîne de réacteurs de production d'enzymes de 6 l, 60 l, 600 l et 6 000 l. Il peut traiter en continu environ une tonne de matière première végétale par jour.

Futurol en chiffres

- Déjà 2 brevets déposés dans le domaine des enzymes (IFP Energies nouvelles et Inra)
- 1 société dédiée, SAS Procethol 2G
- 2 ans de montage du projet, 8 ans de R&D
- 11 partenaires : R&D (ARD, IFP Energies Nouvelles, Lesaffre, Inra), industriels (Champagne Céréales, ONF, Téréos, Total) et financiers (CGB, Crédit Agricole, Unigrains)
- 15 sites et laboratoires
- 90 chercheurs et ingénieurs dont 50 à plein-temps
- 1 label pôle de compétitivité Industries et Agro-Ressources
- 76,4 millions d'euros dont 30 M€ financés par Oseo Innovation

En conclusion, ce projet d'ampleur nationale et à vocation internationale, est l'occasion pour l'Inra d'apporter des réponses aux enjeux du changement climatique, en participant dans son domaine, celui de la recherche finalisée, à des études apportant des réponses opérationnelles. C'est un projet de grande taille et de moyen terme qui permet à des équipes de différents organismes de travailler ensemble pour trouver des solutions à l'interface entre les disciplines.

Propos recueillis par Aline Waquet

+d'infos

contact : Jean.Tayeb@reims.inra.fr
web : http://projet-futurol.com

Vous avez dit durable ?


© Inra / Christophe Maître

Paul Colonna est délégué scientifique « développement durable » à la Direction Générale depuis deux ans. Il esquisse les difficultés et les succès de cette mission interne.

Paul Colonna, en quoi consiste votre mission dans un institut dont les thèmes de recherche finalisée s'inscrivent depuis longtemps dans cette notion de durabilité ?

Paul Colonna : Il y a la recherche avec ses réflexions scientifiques d'une part, et la pratique quotidienne des laboratoires et des services d'appui à la recherche de l'autre. En effet, notre institut est aussi un acheteur de biens et de services, un employeur, un acteur territorial, et, à certains endroits, une exploitation agricole presque ordinaire proche de cours d'eau ou d'habitations. Il ne suffit pas de dire que nos thématiques se préoccupent de développement durable, encore faut-il que nous menions notre propre diagnostic de l'impact économique, environnemental et social de nos activités.

Pour prolonger la prise de conscience interne, l'Inra a dressé en 2009 son schéma directeur « développement durable ». Nous voulons mieux mesurer cette réalité et être force de propositions dans le cadre du Plan « exemplarité de l'Etat » (1). Neuf chantiers collectifs ont été ouverts, et quatre groupes échangent sur des thèmes transversaux. Un schéma pluriannuel a pour but d'entraîner la majorité des agents à s'approprier ces nouveaux enjeux, en tant que personnels travaillant dans l'Inra bien entendu, mais aussi en tant que citoyens.

Comment illustrer concrètement le champ de votre mission ?

P. C. : Prenons par exemple l'IFT, l'indice de fréquence des traitements phytosanitaires. Il devient aujourd'hui le moyen, pour un agriculteur, de se situer et d'évaluer sa marge de progrès pour mieux contrôler les quantités de produits à épandre. Mais toutes nos unités expérimentales utilisent-elles correctement cet indicateur ? Nous devons analyser les pratiques de nos installations et mieux former les agents de l'Inra ; et ce d'autant plus que nos parcelles ont parfois été enchâssées dans le tissu urbain, comme à Montpellier ou Rennes.

Deuxième exemple : la vie dans un établissement multisites repose aussi sur des discussions et des décisions prises collectivement ; la réunion classique, coûteuse en déplacements et chronophage pour notre communauté a évolué vers les visioconférences et les échanges électroniques. Encore faut-il peser les avantages et inconvénients de chaque solution technique, et son adéquation aux objectifs et aux particularités des échanges d'informations entre les acteurs.

Nous avons donc besoin d'évaluer notre activité et de caractériser notre impact environnemental.

Quelles actions précises et quels chantiers sont en cours ?

P. C. : Un premier chantier a porté sur le bilan carbone, pour identifier les priorités d'action où nous avons de grandes marges de progrès. Cette étude pilote a donné lieu à un document remis en avril 2011 (voir encadré). Chaque centre a proposé des idées réalisables à plus ou moins longues échéances. Des opérations ont pris corps, à l'Inra comme dans toute entreprise : le covoiturage, les vélos



UNE ÉTABLE ÉCONOME en énergie et en eau, inaugurée en 2010 dans une unité expérimentale à Lusignan dans la Vienne (centre Inra Poitou-Charentes) : l'instruction d'un tel projet et de son plan de financement s'étale sur plusieurs années.

collectifs pour la circulation locale, des véhicules de service moins polluants, le train plutôt que l'avion, la visioconférence au lieu du déplacement, l'économie d'énergie des bâtiments et plus généralement des fluides... A titre individuel, l'éco-conduite. Nous nous préoccupons aussi de nos déchets, sachant que chaque centre gère les siens selon leur nature et les modalités établies avec les instances locales.

Sur des sujets plus en résonance avec l'activité de l'Inra, citons des actions en cours ou des idées en réflexion : des avancées sur la méthanisation des sous-produits aux Antilles, le remplacement des espaces verts entretenus mécaniquement par des prairies pâturées par des animaux, la mise en place de refuges avec la Ligue de Protection des Oiseaux, un projet de serre expérimentale totalement revisité à Bordeaux pour maximiser surface couverte et durabilité, l'utilisation de ressources énergétiques nouvelles, etc. Un rapport d'étape sera déposé d'ici la fin de l'année 2011 pour illustrer ces initiatives.

Est-ce difficile de mesurer l'activité de l'Inra ? Le dialogue, les impulsions, les échanges sont-ils construits localement ?

P. C. : Certes, cela vient modifier nos habitudes et peut engendrer un surcoût, au moins temporairement. Cependant, en chacun de nous, le citoyen entraîne le chercheur. Et les jeunes sont très sensibles à ces préoccupations. Aujourd'hui, un chargé de mission « développement durable » exerce dans chaque centre, pour participer à la progression des chantiers. Des propositions concrètes verront le jour dans le cadre des nouveaux schémas de centre en 2012. Nous avons également prévu d'y traiter -explicitement- de la question de notre insertion dans le territoire. Il ne s'agit pas d'enfourcher aveuglément des idées toutes faites : nous devons évaluer correctement la satisfaction de nos besoins et construire les solutions avec des partenaires en fonction des dynamiques locales lorsqu'elles existent.

Propos recueillis par Brigitte Cauvin

Le bilan carbone® dans quinze unités

En 2009-2010, l'Inra a réalisé, sur quinze sites représentatifs de ses activités, une étude de sa consommation énergétique et de ses émissions de gaz à effet de serre (2). L'analyse a été conduite selon la méthode du « bilan carbone » développée par l'Ademe. La liste des entités choisies comprend le siège administratif à Paris, quelques unités de recherche et plusieurs unités expérimentales. Ces dernières sont des lieux tout à fait inédits par rapport à des laboratoires classiques : on y trouve par exemple des troupeaux d'animaux de ferme ou des machines agricoles, dans la même configuration que chez des agriculteurs, le tout côtoyant éventuellement un petit laboratoire.

L'étude a commencé par le repérage et la formation d'un correspondant « bilan carbone » dans les unités participantes et d'un référent « bilan carbone » à l'échelle du centre de recherche. Les informations ont été collectées par poste d'achats : l'énergie, les « hors énergie » (matériels de production de froid ou animaux), les intrants (matériel ou réactifs de laboratoire), le fret, les déplacements, etc. En effet, de la précision des données dépendent la qualité des calculs et les analyses qui en découlent. Trois visites d'étapes par site ont ponctué le déroulement de la démarche. Par unité étudiée, elles ont permis d'élaborer un répertoire de préconisations, d'identifier des pistes de travail, d'initier des plans d'action. Par exemple, sur un site, faut-il s'équiper seul d'une chaudière à bois ou susciter une dynamique locale, hors Inra, pour construire une installation partagée avec des partenaires ? Et, prolongement direct de la question, l'approvisionnement en bois de chauffe sera-t-il réalisé de façon « durable » ? Effectuer ces « bilans carbone » a apporté un atout supplémentaire à la réflexion.

(1) Le 8 avril 2011, l'Inra a adhéré au club « développement durable » des établissements et entreprises publics, rejoignant ainsi la soixantaine d'adhérents déjà présents. Grâce à des échanges de pratiques entre organismes, à des rencontres de partages ou à travers des collectifs de travail, il s'agit pour l'Etat de tendre vers l'exemplarité en matière de développement durable. www.gouvernement.fr/gouvernement/les-etablissements-et-entreprises-publics-s-engagent-dans-le-developpement-durable

(2) « Vers un bilan des émissions de gaz à effet de serre de l'Inra. Retour d'expérience de l'étude pilote. Éléments d'aide à la décision pour un déploiement ».

+d'infos
contact :
paul.colonna@nantes.inra.fr

Marion Guillou & Gérard Matheron

9 MILLIARDS D'HOMMES À NOURRIR



Un défi pour demain

SOCIÉTÉ

FB François Bourin Éditeur

Repenser l'agriculture pour nourrir le monde

9 MILLIARDS D'HOMMES À NOURRIR
UN DÉFI POUR DEMAIN
Marion Guillou & Gérard Matheron
FRANÇOIS BOURIN EDITEUR, 2011, 420 P., 22 €

L'agriculture relèvera-t-elle l'immense défi de nourrir les 9 milliards d'hommes qui peupleront la terre en 2050 ? Oui ! répondent ensemble dans leur ouvrage Marion Guillou et Gérard Matheron, présidents respectivement de l'Inra et du Cirad.

Il est encore possible d'éviter la crise alimentaire… Mais cela nécessitera de profonds changements dans nos habitudes de consommation et de production en Europe. Poursuivant les réflexions de la prospective Agrimonde - conduite par l'Inra et le Cirad - qui a scénarisé les systèmes alimentaires et agricoles mondiaux à l'horizon 2050, l'ouvrage milite pour un changement, voire une rupture, des pratiques agricoles et alimentaires. « *L'agriculture qui nourrira le monde en 2050 ne sera pas le prolongement de l'agriculture d'aujourd'hui* » pronostique l'ouvrage.

Chercheurs et agriculteurs devront s'organiser pour construire des solutions collectives qui soient adaptées à une gestion durable des ressources communes de la terre en s'appuyant sur la science et l'innovation. Selon les deux responsables d'instituts de recherche agronomique, il est nécessaire d'accentuer les recherches biotechnologiques, agro-écologiques, économiques, sociales et humaines pour contribuer à renouveler profondément les savoirs et diffuser des innovations utiles aux agriculteurs. Afin de produire plus - et mieux - avec moins de terres, d'énergie, de ressources naturelles… Pour nourrir le monde, il faudra aussi consommer mieux, moins, et surtout moins gaspiller tout au long de la chaîne alimentaire. Le régime alimentaire occidental n'est ni soutenable, ni généralisable s'il l'on veut éviter demain toute crise alimentaire : « *il faudra radicalement changer les comportements de chacun d'entre nous comme au niveau collectif* » notent les auteurs.

Enfin, pour limiter la volatilité excessive des prix des denrées alimentaires de base, l'ouvrage recommande de repenser, recomposer et renforcer la gouvernance mondiale en matière de sécurité alimentaire.

Ce livre nous éclaire sur la question cruciale de l'agriculture et de l'alimentation en ce début de siècle qui a déjà subi des émeutes de la faim et une menaçante volatilité des prix agricoles.

Cécile Poulain

Marion Guillou est à la tête de l'Institut national de la recherche agronomique depuis 2000. Gérard Matheron dirige le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement depuis 2006.

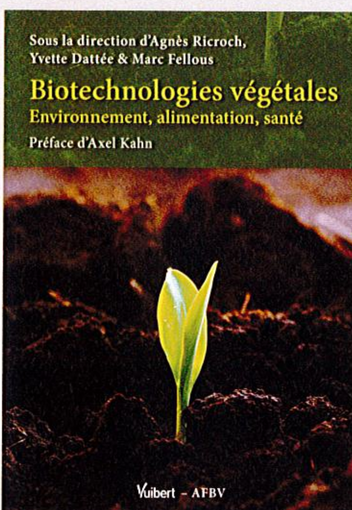
en bref

Analyses économiques du paysage
Walid Oueslati, coord.
L'analyse économique du paysage se développe car ce concept, mobilisateur mais flou, peut rassembler des individus malgré la divergence de leurs intérêts. Cet ouvrage collectif, le seul en français, réunit les travaux de recherche les plus récents sur ce thème. Il est destiné aux chercheurs, aux étudiants et aux acteurs de l'aménagement des paysages.
Éditions Quæ, collection Update Sciences & technologies, mars 2011, 248 p., 38 € (26,60 € en pdf)

Guide de rédaction scientifique
L'hypothèse, clé de voûte de l'article scientifique
David Lindsay, adaptation française de Pascal Poindron
Ce manuel propose une méthode utile aux étudiants ou aux chercheurs débutants confrontés à la difficile épreuve de la rédaction de leur thèse ou de leurs articles. Il souligne le rôle essentiel de l'hypothèse dans la construction de la logique du discours et invite à privilégier la structure des articles plutôt que la grammaire et la syntaxe.
Éditions Quæ, juillet 2011, 158 p.,15 €

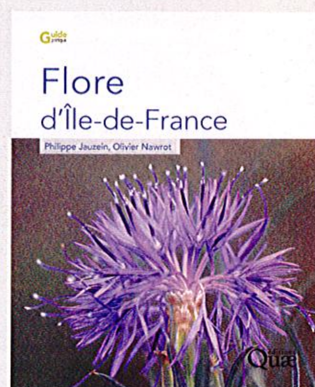
Éthique et recherche
Un dialogue à construire
Jean-François Théry, Jean-Michel Besnier, Emmanuel Hirsch
Ce livre retrace le processus de création du Comité d'éthique et de précaution pour les applications de la recherche agronomique. La démarche d'éthique fait appel à des disciplines autres que la biologie : la philosophie, l'anthropologie, jusqu'à la théologie lorsque le comité s'est saisi des OGM et du sens du progrès génétique.
Éditions Quæ, collection Inra-Sciences en questions, septembre 2011, 88 p., 8,50 €

BIOTECHNOLOGIES VÉGÉTALES, ENVIRONNEMENT, ALIMENTATION, SANTÉ
Sous la direction de Agnès Ricroch, Yvette Dattée, Marc Fellous
Préface d'Axel Kahn
EDITIONS VUIBERT (AVEC L'AFVB), JUIN 2011, 272 P., 25 €

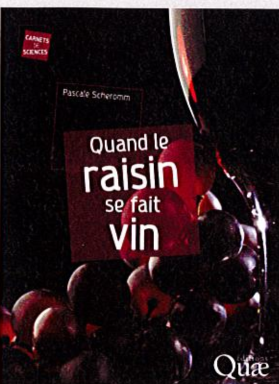


Cet ouvrage très complet se compose de vingt-deux synthèses rédigées par les meilleurs spécialistes du sujet. L'amélioration des plantes est d'abord resituée dans l'évolution des espèces cultivées, notamment par rapport à la notion de « biodiversité » et en explicitant les spécificités de la protection commerciale des variétés obtenues. Après un exposé des méthodes les plus récentes, les auteurs montrent les avantages et les limites de ces boîtes à outils technologiques, selon les objectifs visés en environnement ou en santé (tolérance aux herbicides, résistance aux maladies, production de biomolécules par des voies nouvelles, etc.). Une dernière partie laisse place à une réflexion critique sur l'arrivée des biotechnologies végétales dans les agricultures mondiales.

FLORE D'ÎLE-DE-FRANCE
Philippe Jauzein, Olivier Nawrot
EDITIONS QUAE, COLLECTION GUIDE PRATIQUE, OCTOBRE 2011, 1 000 P., 129 € (prix de lancement 99 € jusqu'au 31 décembre 2011), 69,30 € en pdf



Deux botanistes spécialisés dans les inventaires et la systématique des plantes sont les auteurs de cet ouvrage. Plus de 1 600 espèces sont répertoriées, associées à 1 500 cartes de répartition commentées. Trente espèces n'avaient jamais été signalées historiquement, et une vingtaine, considérées comme disparues, ont été redécouvertes. Accessible à tous publics, c'est la première entreprise complète de haut niveau scientifique depuis un siècle.
Elle couvre la trentaine de petites régions écologiques des huit départements franciliens. Un second tome est en cours de rédaction, consacré aux clés de détermination.



QUAND LE RAISIN SE FAIT VIN
Pascale Scheromm
EDITIONS QUAE, COLLECTION CARNETS DE SCIENCES, AOÛT 2011, 224 P., 20 €

Le vin est l'un des plus anciens produits élaborés par l'homme. Il serait apparu entre 8 000 et 5 000 ans avant J.-C., selon des vestiges de vinification découverts par les archéologues. Cet ouvrage, tout en illustrations et en schémas didactiques, relate l'histoire de la vigne et du vin depuis les premières récoltes sur les vignes sauvages jusqu'aux innovations les plus récentes. Vous accéderez à l'univers contemporain du vin en voyageant à travers les régions, les cépages, les vendanges, la construction d'une appellation, la fermentation ou encore la dégustation. Pascale Scheromm, chercheur à l'Inra, a destiné ce bijou à tous les amoureux du vin, professionnels ou amateurs.

✱ Microscopie des plantes consommées par les animaux
Joselyne Rech
Ce guide, agrémenté de 150 planches de dessin de l'auteur, présente une méthode originale d'identification des plantes ingérées par les animaux, grâce à l'observation de fragments contenus dans leur tube digestif, leur fèces, ou encore dans les farines alimentaires à base de plantes. Cette méthode peut être utile en toxicologie alimentaire ou pour la traçabilité de produits industriels.
Éditions Quæ, collection Guide pratique, mai 2011, 288 p., 49 € (34,30 € en pdf)

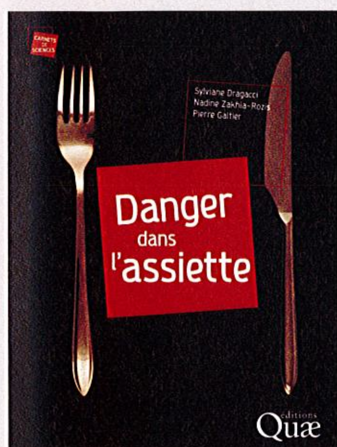
✱ Production durable de biomasse
La lignocellulose des poacées
Denis Pouzet
Les parois lignocellulosiques que les plantes élaborent par le processus de photosynthèse constituent une importante ressource de molécules et de fibres pour l'énergie, les biomatériaux et la chimie verte. Cette biomasse est renouvelable, abondante et sous-employée. L'ouvrage expose les potentialités de productions de différentes plantes, à partir des modèles canne à sucre ou Miscanthus.
Éditions Quæ, collection Synthèses, juillet 2011, 224 p., 28 €

✱ L'agriculture comparée
Hubert Cochet
Dans ce livre qui se situe entre sciences sociales et sciences du vivant, l'auteur expose l'intérêt de l'analyse comparative des multiples formes de l'agriculture. Il utilise ses expériences de recherche et d'enseignement pour montrer que cette discipline, développée par René Dumont, permet de comprendre les transformations des sociétés agricoles ou des systèmes agraires, et d'être force de propositions pour leur évolution.
Éditions Quæ, collection Indisciplines, juin 2011, 160 p., 24 € (12,60 € en pdf)

éditions Quæ

www.quae.com

c/o
Inra - RD 10 -
F-78026
Versailles
Cedex



✱ DANGER DANS L'ASSIETTE
Sylviane Dragacci, Nadine Zakhia-Rozis, Pierre Galtier
EDITIONS QUAE, COLLECTION CARNETS DE SCIENCES, JUIN 2011, 184 P., 25 € (17,50 € en pdf)

Dans ce livre abondamment illustré, les auteurs nous entraînent dans le monde des moisissures. Comment se développent-elles sur les récoltes ou sur les aliments ? Ont-elles un effet négatif sur la santé ? Certaines sont inoffensives mais d'autres engendrent des maladies : intoxications aiguës parfois mortelles comme autrefois avec l'ergot du seigle, effets cancérigènes établis pour certaines d'entre elles.
Les mycotoxines, toxines produites par les moisissures, sont en général résistantes à la cuisson, et les contaminations peuvent passer inaperçues si le produit n'est pas visiblement altéré. D'où l'intérêt d'une excellente surveillance des conditions de leur développement au champ ou à la récolte, de même que lors du stockage des grains ou des aliments à la maison. Ce livre, destiné à un large public, nous renseigne aussi sur la façon dont ce risque est géré collectivement.

✱ VIVRE AVEC LES ANIMAUX, UNE UTOPIE POUR LE XXIè SIÈCLE
Jocelyne Porcher
EDITIONS LA DÉCOUVERTE, COLLECTION TEXTES À L'APPUI/ BIBLIOTHÈQUE DU M.A.U.S.S., JUIN 2011, 168 P., 15 €

J. Porcher, qui a pratiqué l'élevage avant de devenir chercheur à l'Inra, décrypte la relation que l'homme entretient avec les animaux domestiques, et principalement ceux qui servent à la production des aliments dits « d'origine animale ».
La construction de l'ouvrage reflète l'évolution des pratiques d'élevage et des modes de pensée, cheminement que l'auteur nous fait partager à partir de sa propre expérience professionnelle et de ses observations. Sans nier la nécessité de l'élevage, J. Porcher continue à transmettre les clés de compréhension des relations à l'animal et propose une utopie du « bien élever » les animaux dont les produits finissent néanmoins dans notre assiette.

✱ MANGER SANS RISQUES
Vincent Leclerc
EDITIONS QUAE, COLLECTION CARNETS DE SCIENCES, AOÛT 2011, 208 P., 22 € (15,40 € en pdf)



Des séries de questions-réponses, illustrées et pédagogiques, permettent de faire plus ample connaissance avec ces infiniment petits qui peuplent nos chaînes alimentaires, notre frigo ou nos assiettes. Virus, vers, bactéries, toxines… parfois virulents, parfois anodins, ils étaient encore mystérieux il n'y a pas si longtemps. C'est la progression récente des mesures d'hygiène à chaque étape de la production qui les tient en respect aujourd'hui. Avec cette lecture, vous ne serez peut-être plus jamais seul dans votre cuisine, mais vous saurez déjouer les pièges de ce « vivant » qui inquiète parce que nous ne le voyons pas.

REGARD

Protection des animaux : comment le droit peut-il évoluer ?


© Inra / Bertrand Nicolas

Jean-Pierre Marguénaud, professeur de droit à l'Université de Limoges, vient d'achever une tournée de conférences à l'Inra. Son combat : un statut juridique pour l'animal.

Cette tournée de conférences dans des centres de l'Inra vous a permis de rencontrer des acteurs de l'expérimentation animale. Qu'en avez-vous retenu ?

Jean-Pierre Marguénaud : Auparavant, je ne connaissais l'expérimentation animale que de l'extérieur. Ce que j'ai pu voir à l'Inra est plus contrasté que l'image véhiculée, entre autres, par les vidéos d'Internet. Peu de poneys par exemple ont des conditions d'existence aussi paradisiaques qu'à Tours-Nouzilly. Et beaucoup d'expériences sont peu douloureuses : prises de sang ou études de comportement. De plus, la règle des 3R (1) se diffuse petit à petit. L'époque où Claude Bernard coupait les cordes vocales de ses chiens pour qu'on ne les entende pas hurler est heureusement révolue… Néanmoins, je suis comme le Doyen Nerson, un éminent juriste lyonnais qui écrivait il y a cinquante ans « *ne pouvoir avancer dans le domaine de l'expérimentation animale sans être saisi d'effroi* ».

Je pensais aussi que certains sujets étaient encore tabous. Lors de ma conférence à Rennes, j'ai été impressionné qu'un animalier m'interpelle sur le problème de l'euthanasie des animaux d'expérience. Autre exemple, une étudiante en master à l'Inra de Tours m'a demandé de diriger sa thèse sur les méthodes alternatives en expérimentation animale.
Alors que ma première conférence à l'Inra avait suscité de fortes résistances, j'ai l'impression d'avoir changé d'époque en un an ! Sciences en Questions (2) a sans doute contribué à plus de transparence au sein de l'Institut.

Les premières pages de la directive européenne 2010/63/UE précisent qu'il s'agit d'une étape vers l'abolition de l'expérimentation animale et qu'une révision est prévue à brève échéance. Il y est également rappelé que le bien-être animal est une valeur de l'Union Européenne. Qu'en pensez-vous ?

J.-P.M. : C'est carrément une révolution ! Concrètement, cette directive conforte plusieurs des propositions que je

défends. D'une part, les articles 26 et 27 mentionnent la création de structures chargées du bien-être des animaux qui donneront plus de poids à l'opinion de ceux qui sont proches des bêtes. D'autre part, pour assurer la conformité des protocoles à la règle des 3R, on va passer progressivement d'un système de déclaration à un système d'évaluation et d'autorisation. Actuellement, l'évaluation est assurée par des comités d'éthique locaux. A terme, une autorité compétente indépendante devrait les remplacer. La première étape de cette évolution sera la transposition de la directive en droit français. Les juristes animaliers veilleront au respect de l'esprit de la directive.
Le droit s'adapte au changement du regard que la société porte sur l'animal. Les scientifiques aussi doivent évoluer. Certaines entreprises prennent acte de l'interdiction prochaine de l'expérimentation animale pour les produits cosmétiques et financent des recherches sur les méthodes alternatives.

En droit, l'animal est considéré comme un objet. Vous souhaitez que son statut évolue vers celui de personne morale. Cette idée ne laisse pas indifférent. Les moyens ne sont-ils pas disproportionnés ?

J.-P.M. : Tout d'abord, j'aimerais vous rassurer. La personnalité morale n'est pas comparable à celle conférée à l'Homme, laquelle est assortie de droits fondamentaux : liberté, dignité, égalité. C'est un outil technique utilisé pour qualifier une entreprise ou une association. Il est modulable et permet d'avancer progressivement. Ma proposition est conçue pour protéger la sensibilité des animaux. Celle d'Isabelle Doussan (voir encadré) se situe au plan de la conservation des espèces. Ce n'est pas la même chose. J'ajoute que, même sur son propre terrain, le droit de l'environnement, certains auteurs (3) défendent des thèses personnificatrices.
Le statut juridique de l'animal est une garantie supplémentaire car il y a toujours un décalage entre les règles et leur application. Ce qui compte, c'est l'interprétation que le juge en fait. Ce dernier devrait se montrer beaucoup plus attentif si l'animal était considéré comme une « personne morale ».

Reconnaître la sensibilité animale comme une valeur

Isabelle Doussan, directrice de recherche Inra, défend une position alternative. « *Poser la question de l'animal en termes de sujet ou objet de droit ne me paraît pas pertinent, explique-t-elle, car la dichotomie elle-même devra à terme être dépassée pour répondre aux enjeux actuels. Ce sont les valeurs que le droit reconnaît et protège qui m'intéressent, peu importe alors qu'elles soient humaines ou non. De plus, quand les frontières se brouillent entre humain et non humain, quand le vivant dans son ensemble est menacé de réification, il est important selon moi de conserver à l'homme sa distinction symbolique de seul sujet de droit* ».
Isabelle Doussan est spécialiste du droit de l'environnement et travaille au Gredeg (Groupe de recherche en droit, économie et gestion, unité mixte de recherche de l'université de Nice - Sophia Antipolis et du CNRS).

Pour vous, cette évolution apporte des avantages non seulement aux animaux, mais aussi aux hommes. Pouvez-vous nous en dire un peu plus ?

J.-P.M. : Les expérimentateurs seraient plus à même de faire reconnaître leurs droits. Prenons l'exemple d'un animalier qui refuserait de participer à une expérience invasive sur des animaux qu'il a élevés. Il pourrait alors faire valoir son droit de retrait. ●

Propos recueillis par Evelyne Lhoste

(1) La règle des 3R (remplacer, réduire et raffiner) prône notamment l'usage de toute méthode permettant de diminuer la douleur, la souffrance ou l'angoisse et d'améliorer le bien-être des animaux d'expérimentation.

(2) Depuis 1995, le groupe « Sciences en Questions » organise des conférences dans les centres Inra dans le but de susciter des débats sur les grandes questions relatives à la science. Des ouvrages de restitution sont ensuite édités et mis à disposition des agents de l'Inra. Celui de Jean-Pierre Marguénaud : « Expérimentation animale : entre droit et liberté », paru en 2011 aux Editions Quae, est le 26e de la collection. www.inra.fr/les_recherches/exemples_de_recherche/sciences_en_questions_a_l_inra

(3) Libchaber Rémi (2001). Perspectives sur la situation juridique de l'animal. Revue trimestrielle de droit civil, 239.

Portrait

Jean-Pierre Marguénaud a grandi au milieu des animaux dans une ferme du Limousin. L'abattage y fait partie de la vie quotidienne. Néanmoins, c'est le soir où son fidèle compagnon ne l'attend pas à la sortie de l'école que l'enfant découvre l'horreur du trafic de chiens de laboratoire.
J.-P. Marguénaud, en homme tranquille, a tracé sa route hors des sentiers battus avec persévérance et esprit d'ouverture. Il se dit « juriste atypique » et surprend ses enseignants dès le choix de son thème de thèse : « L'animal en droit privé», un thème jugé « folklorique ». Nommé professeur à l'Université de Limoges, J.-P. Marguénaud devient un éminent spécialiste d'un autre sujet épineux pour les facultés de droit, la convention européenne des droits de l'Homme.

- **1987** Thèse de droit privé sur la lutte contre la souffrance animale
- **1991** Professeur agrégé de droit privé à l'Université de Clermont-Ferrand puis de Limoges
- **1996** Titulaire d'une chronique de Sources européennes à la Revue trimestrielle de droit civil
- **2009** Création de la Revue semestrielle de droit animalier (RSDA) avec Florence Burgat et Jacques Leroy

AGENDA

12/16 octobre
EN RÉGIONS

Fête de la science
Les centres de recherche de l'Inra participent à l'édition 2011 de la Fête de la science dans de nombreuses régions de France... La Chimie et l'Outre-mer sont les thématiques privilégiées de 2011, en lien avec l'Année internationale de la Chimie et l'Année des Outre-mer français.
WWW.fetedelascience.fr

3/4 novembre
GUADELOUPE - MARTINIQUE

Carrefour Innovation Agronomique Antilles Quelles innovations pour des systèmes durables de production et de transformation en agriculture aux Antilles et en Guyane ?
Les Ciag sont un lieu de diffusion des projets et résultats de recherche de l'Inra auprès de ses partenaires. Ce carrefour va permettre de susciter un débat autour d'évolutions nécessaires dans l'agriculture des régions françaises d'Amérique.
- 3 novembre - Guadeloupe
- 4 novembre - Martinique

WWW.inra.fr/ciag

16 novembre
PARIS - MNHM

Expertise scientifique collective Variétés tolérantes aux herbicides
Le CNRS et l'Inra, organisateurs de ce colloque, présenteront les conclusions de l'expertise qu'ils ont conduite conjointement, à la demande des ministères de l'Agriculture et de l'Écologie.
WWW.inra.fr/l_institut/expertise

18 novembre
SAINT-MANDÉ

Conférence de présentation du rapport sur l'état des sols de France
Les pouvoirs publics ont confié au Gis Sol et à l'Inra la mission de constituer et de gérer un système d'information sur les sols de France afin de répondre aux besoins des décideurs publics et de la société au niveau régional et national. Après dix ans de travaux, les données cartographiques et analytiques permettent de dresser un premier bilan de l'état des sols de France, tant vis-à-vis de leur fertilité, de leur contamination que des services environnementaux rendus. Lors de cette conférence, seront évoqués les points positifs identifiés, les incertitudes et les inquiétudes quant à l'état des sols de France.
WWW.gissol.fr

21 novembre
PARIS - SÉANCE AU SÉNAT

Solidarité dans le domaine agricole et rural
À l'occasion des 250 ans de l'Académie d'Agriculture, 4e séance ayant pour thème « la solidarité ».
WWW.academie-agriculture.fr/250eme-anniversaire.html

22/23 novembre
LE MANS

XIVe Journées de la recherche cunicole
Les résultats les plus récents des grands domaines de l'élevage du lapin et de la production de viande : alimentation, génétique, pathologie, reproduction, techniques et systèmes d'élevage, croissance, qualité de la viande et des carcasses, économie, prospective... seront présentés lors de ces rencontres.
Organisées par l'Inra et l'Itavi, avec la participation de l'ASFC.
WWW.inra.fr/toute_l_actu/manifestations_et_colloques

7/8 décembre
PARIS

Journées 3R - Rencontres recherches ruminants
Ces rencontres mettent à disposition les résultats des derniers travaux sur l'élevage des ruminants et sur leurs produits. Cette année seront abordés les sujets suivants : aide à la décision en élevage, compétitivité des systèmes d'élevage, élevage bio et développement territorial, phénotypage. Organisées par l'Inra et l'Institut de l'élevage.
WWW.inra.fr/toute_l_actu/manifestations_et_colloques

16 décembre
NANCY

Carrefour de l'Innovation Agronomique Forêt-bois : quelles ressources pour quels produits ?
Les nouveaux usages du bois peuvent conduire à une augmentation sensible des prélèvements en forêts, et agir sur la durabilité de la gestion forestière, voire entrer en conflit avec les services rendus par les écosystèmes forestiers en termes d'eau, de protection de la biodiversité... Le carrefour permettra de confronter ces points de vue et d'apporter une vision documentée sur ces enjeux.
WWW.inra.fr/ciag



Carrousel du Louvre
7 décembre 2011

Créés en 2006, les lauriers de l'Inra récompensent la créativité et les compétences parfois exceptionnelles que l'on rencontre dans les métiers de la recherche. Ils reconnaissent le travail et le parcours d'hommes et de femmes dans la recherche agronomique. Cinq lauriers récompensent l'excellence et la créativité.

www.inra.fr/lauriers

